

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: 3107R004 Technologie a řízení oděvní výroby

**TEXTILIE VYUŽITELNÉ PRO OCHRANU
ČLOVĚKA PŘED ÚČINKY
ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE**
**TEXTILES BE USED FOR THE PROTECTION OF MAN
AGAINST THE EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC
FIELDS**

Petra Hubková

KOD – 2010/06/26/BS

Vedoucí bakalářské práce: prof. Zdeněk Kůs

Rozsah práce: 62

Počet stran textu ...48

Počet obrázků20

Počet tabulek13

Počet grafů3

Počet stran příloh..0

Zadání bakalářské práce

(vložit originál)

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce prof. Zdeňku Kůsovi, dále svému konzultantovi doc. Antonínu Havelkovi za cenné rady a připomínky. Mé velké díky patří Ing. Jaroslavu Hanušovi, prof. Aleši Richterovi a Ing. Miroslavě Maršálkové, kteří mi velice pomohli a také Ing. Martinu Truhlářovi, který mi poskytl měření útlumu elektromagnetického pole.

Také bych chtěla poděkovat panu Ing. Marcelu Burdychovi a panu Ing. Janu Dostálovi z LairdTechnologies, panu Ing. Vladimíru Ohlídaloovi z Výzkumného ústavu bavlnářského a firmě Čemos, kteří mi poskytli spoustu informací.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své mamince, která mi umožnila toto studium, svému příteli a jeho rodině za podporu.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá účinky elektromagnetického pole na člověka a způsoby ochrany člověka před ním. Jedním ze způsobů ochrany jsou stínící textilie.

První část bakalářské práce se zabývá elektromagnetickým polem, jeho základními vztahy a zákony.

Druhá část bakalářské práce se zabývá působením elektromagnetického pole na člověka, jeho účinky na lidský organismus a provedenými studiemi. Tato část se také zabývá zavedenými limity neionizujícího záření.

Třetí část se zabývá ochranou člověka před působením elektromagnetického pole. Ta je zaměřena na stínící textilie, jejich princip, požadavky, použité materiály, využití těchto textilií v praxi a jejich testování.

V experimentální části je provedeno měření povrchové a objemové rezistivity a útlumu elektromagnetického vlnění.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Elektromagnetické pole

Studie účinků

Stínění

Textilie

Útlum

Annotation

This bachelor thesis deals with the effects of electromagnetic field on a human and the ways of his protection from them. One of the ways of the protection are shielding fabrics.

The first part of the bachelor thesis deals with electromagnetic field, its basic relations and statuses.

The second part deals with the electromagnetic field incidence on humans, its effects on their organisms and implemented studies. This part also deals with established limits of non-ionizing radiation.

The third part deals with a human protection from electromagnetic field incidence. It is targeted at shielding fabrics, their principles, requirements, used materials, their use in practice and their testing.

In the experimental part there is implemented the surface resistivity and volumetric resistivity measurement and attenuation of electromagnetic undulation.

KEY WORDS:

Electromagnetic field

Study of effects

Shielding

Textile

Attenuation

Obsah

1. Úvod	10
2. Teorie elektromagnetického pole	11
2.1. Pole elektrické	12
2.2. Pole magnetické.....	16
2.3. Elektromagnetické vlnění	20
3. Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus	26
3.1. Limity neionizujícího záření.....	27
3.2. Účinky elektromagnetického vlnění podle některých studií	31
4. Ochrana člověka před působením elektromagnetického pole	35
4.1. Elektromagnetické stínění	35
4.2. Stínící textilie.....	37
4.2.1 Používané materiály	39
4.2.2 Povrchové úpravy	42
4.2.3 Aplikace stínících textilií jako ochranných prostředků před nežádoucími účinky neionizujícího záření.....	44
4.3. Testování účinnosti stínění	47
5. Experiment	49
6. Závěr	56
Seznam použité literatury	58
Seznam použitých obrázků.....	61
Seznam tabulek.....	62
Seznam grafů	62

Použité symboly a zkratky

Zkratka, symbol	Název	Jednotka
B	Magnetická indukce	[T]
B_A	Amplituda magnetického pole	
C	Kapacita vodiče	[F]
C	rychlost šíření elektromagnetické vlny	[m.s ⁻¹]
E	Intenzita elektrického pole	[N.C ⁻¹], [V.m ⁻¹]
E_A	Amplituda elektrického pole	
E_i	Intenzita elektrického pole před stínění	[V.m ⁻¹]
E_t	Intenzita elektrického pole po stínění	[V.m ⁻¹]
f	Frekvence	[Hz]
F_m	Magnetická síla	[N]
G	Elektrická vodivost	[S]
H	Intenzita magnetického pole	[A.m ⁻¹]
H_i	Intenzita magnetického pole před stíněním	[A. m ⁻¹]
H_t	Intenzita magnetického pole po stínění	[A. m ⁻¹]
I	Elektrický proud	[A]
J_{mod}	Modifikovaná proudová hustota	[A.m ⁻²]
km	Kilometr	
$kol.$	Kolektiv	
K_S	Koeficient stínění	
l	délka indukční čáry	[m]
L	Indukčnost	[H]
l_v	Délka vlákna	[m]
m	Metr	
$pozn.$	poznámka	
S	Hustota zářivého toku	[W.m ⁻²]
SAR	Měrný absorbovaný výkon	[W.kg ⁻¹]
SE	Účinnost stínění	[dB]
S_v	Plocha příčného řezu	[m ²]
T	Časová perioda	
$tz.n.$	to znamená	
U	Elektrické napětí	[V]
U_m	Magnetické napětí	[A]
ϕ	Elektrický potenciál	[J.C ⁻¹ = V]
λ	vlnová délka	[m]
σ_E	Elektrická vodivost vlákna	[S.m ⁻¹]

Φ	Tok intenzity elektrického pole	
Φ	Magnetický indukční tok	[Wb]
$\Delta\Phi$	Změna magnetického indukčního toku	[Wb]
π	Ludolfovo číslo	
σ	Konduktivita látky	
μ	Permeabilita	
μ_0	Permeabilita	
μ_r	Relativní permeabilita	

1. Úvod

Elektrosmog, tedy znečištění elektromagnetickým vlněním, je všude kolem nás. V dnešní době je to už stejný problém jako znečištění ovzduší odpadními plyny. Elektrosmog nevytvářejí pouze mobilní telefonní sítě, ale i televize, mikrovlnné trouby, počítače a v neposlední řadě i vysavač či holicí strojek. Mnozí z nás na sobě žádné působení elektromagnetického záření nepociťují, ale jsou i takoví lidé, kteří jsou citliví na působení elektromagnetického pole. Tento jev nazýváme hypersenzitivita na elektromagnetické pole. Dnes touto poruchou trpí asi 3 % populace. Hypersenzitivita nebo také přecitlivělost na elektromagnetické pole se může projevovat nespavostí, bolestmi hlavy, únavou, závratěmi, zažívacími potížemi, bolestmi kloubů a jinými obtížemi. Na toto téma a téma způsobování rakoviny elektromagnetickým zářením byla provedena celá řada výzkumných studií. Tyto studie jak potvrzují, tak i vyvracejí účinky elektromagnetického záření na člověka.

Proto, ať už trpíme či netrpíme hypersenzitivitou, bychom se měli před působením elektromagnetického pole chránit. Nejjednodušším a nejúčinnějším způsobem by bylo obléci se do brnění, to je však v dnešních podmínkách zcela nemyslitelné, jak z důvodu komfortu tak z mnoha jiných. Proto se vyrábějí textilie, které tlumí elektromagnetické vlnění. Tyto textilie jsou jedním z nástrojů stínění elektromagnetického pole. Musejí splňovat určité vlastnosti, aby bylo dosaženo co největšího stínění. U těchto textilií se provádí měření povrchové a objemové rezistivity a měření útlumu elektromagnetického pole, z kterého vychází účinnost stínění textilie. Tyto textilie mají velmi širokou škálu využití, dají se využít jak pro technické účely, tak i pro výrobu ochranných oděvů, prádla, doplňků a bytových textilií.

Cílem této práce je přiblížení problematiky elektromagnetického pole, jeho základních složek, účinků na člověka a zavedených hygienických limitů. Dále stanovení ochrany před neionizujícím zářením v podobě textilií, princip těchto textilií, jejich využití a přehled dostupných výrobků z těchto textilií. A nakonec na základě měření vyhodnocení nejlepších materiálu na výrobu stínících textilií.

2. Teorie elektromagnetického pole

Elektromagnetické pole je fyzikální pole, které je složeno z elektrického a magnetického pole. V našem případě budeme hlavně uvažovat s nestacionárním elektrickým polem a nestacionárním magnetickým polem, to je s poli měnící se s časem. Protože jak plyne z Maxwellových rovnic, nestacionární magnetické pole vyvolává indukované elektrické pole a nestacionární elektrické pole vyvolává pole magnetické. Z této skutečnosti pak plyne existence elektromagnetických vln. [1, 2, 8]

Maxwellovy rovnice

První Maxwellova rovnice

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\sigma \mathbf{D}}{\sigma t} \quad (1)$$

„Rotace vektoru intenzity magnetického pole \mathbf{H} je rovna hustotě vodivého proudu \mathbf{j} a hustotě posuvného (Maxwellova) proudu“. [2]

Druhá Maxwellova rovnice

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \frac{\sigma \mathbf{B}}{\sigma t} \quad (2)$$

„Rotace vektoru intenzity elektrického pole \mathbf{E} je rovna záporně vzaté derivaci magnetické indukce \mathbf{B} “. [2]

Třetí Maxwellova rovnice

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho_0 \quad (3)$$

„Divergence vektoru elektrické indukce \mathbf{D} je rovna objemové hustotě volného náboje ρ_0 “. [2]

Čtvrtá Maxwellova rovnice

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

„Divergence vektoru magnetické indukce \mathbf{B} je rovna nule“. [2]

2.1. Pole elektrické

Elektrické pole je tvořeno elektrickými náboji, projevuje se silovým působením na jiná zelektrovaná tělesa. Shodné náboje se vzájemně odpuzují a opačné přitahují.

Intenzita elektrického pole E

Intenzita elektrického pole je vektorová veličina, která má shodný směr s elektrickou silou.

Je určena vztahem:

$$\vec{E} = \frac{F_e}{q} \quad (5)$$

kde \vec{E} je intenzita elektrického pole [N.C⁻¹], [V.m⁻¹]

F_e je síla působící na bodový náboj

q je velikost bodového náboje.

Výpočty intenzity elektrického pole E :

a. Intenzita elektrického pole ve vzdálenosti r od bodového náboje.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} * \frac{Q}{r^2} \quad (6)$$

b. Každý bodový náboj q kolem sebe vyvolává elektrické pole, a proto má každý svou intenzitu. Výsledná intenzita je pak rovna součtu intenzit polí.

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (7)$$

c. homogenní elektrické pole, zde má vektor intenzity stejný směr i velikost. [5,7]

Elektrický potenciál a napětí

Elektrická síla F_e přemísťuje náboj q , tím vykonává práci a mění jeho potenciální energii E_p . Pokud se náboj přemísťuje ve směru elektrické síly, pak se potenciál energie zmenšuje. Naopak je tomu pokud se náboj přemísťuje proti směru působení síly, pak se potenciál energie zvětšuje. [7]

Elektrický potenciál

$$\varphi = \frac{E_p}{q} \quad (8)$$

kde φ je elektrický potenciál [$\text{J} \cdot \text{C}^{-1} = \text{V}$]

E_p je potenciální energie

q je bodový náboj

Dipólový moment

Pokud elektrické pole dvou navzájem opačných nábojů, které jsou stejně velké, k sobě přiblížíme na vzdálenost l , vznikne elektrický dipól. Dipól popisujeme dipólovým momentem, který má velikost danou vztahem: [8]

$$d = Ql \quad (9)$$

kde d dipólový moment

l je vzdálenost nábojů

Q velikost nábojů.

Pokud přemístíme elektrický náboj v kolmém směru k siločarám elektrického pole, nekoná se žádná práce a nedochází tedy ke změně potenciální práce. Ve všech bodech, kterými náboj prošel je stejný potenciál. Z těchto bodů je vytvořena plocha, která se nazývá hladina potenciálu nebo také ekvivalentní plocha. [3,5,7,]

Elektrické napětí U

Elektrické napětí je rozdíl elektrických potenciálů mezi dvěma body elektrického pole.

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (10)$$

kde U je elektrické napětí [V]

φ_2 je elektrický potenciál druhého bodu

φ_1 je elektrický potenciál prvního bodu

Pokud uvažujeme s homogenním polem o intenzitě E , platí vztah:

$$U = Ed \quad (11)$$

kde U je elektrické napětí [V]

E je elektrická intenzita

d je dipólový moment

[7]

Tok intenzity elektrického pole Φ

Tok intenzity elektrického pole je počet siločar procházejících určitou plochou, ta může být buď uzavřená (kulová) nebo neuzavřená (určitá plocha omezená hranicí). A zde platí vztah, který se nazývá Gaussova věta elektrostatiky: [8]

$$\Phi = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad (12)$$

Vodič a izolant v elektrickém poli

Vodič

Vodič obsahuje volně se pohybující částice s nábojem tzv. volné elektrony, ty nejsou nijak vázány na atomovou slupku atomu ale jen na objem součástky. Typické látky vedoucí elektrický proud jsou kovy a jejich slitiny. Pokud vložíme vodič do elektrického pole, bude na volné elektrony působit elektrická síla. To způsobí, že se volné elektrony budou hromadit na jedné straně vodiče a na druhé straně budou kladně nabití ionty neboli indukované náboje, tento jev nazýváme elektrostatická indukce. Tímto vzniká uvnitř vodiče indukované elektrické pole o intenzitě E_i . [5, 7]

Izolant neboli dielektrikum

Těleso, v němž se nemohou částice s nábojem volně pohybovat, se nazývá izolant. Typickými látkami jsou sklo, pryž, porcelán, plasty. V atomech a molekulách těchto látek jsou elektrony pevně vázány a rovný počet kladných protonů. Pokud toto těleso vložíme do elektrického pole, bude působit elektrická síla na celý atom či molekulu a dojde k deformaci elektronových obalů, z nich vznikají elektrické dipóly. Uvnitř tělesa vzniká

elektrické uspořádání, které působí proti vnějšímu elektrickému poli a zeslabuje ho. Tento jev určuje hodnota relativní permeability ε_r . [5, 7]

Kapacita vodiče

Kapacita vodiče je schopnost vodiče pojmout určitý náboj Q za dané hodnoty potenciálu.

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad (13)$$

kde C je kapacita vodiče [F]
 Q je náboj
 φ je elektrický potenciál

Je to velmi důležitá vlastnost vodiče, která závisí na jeho rozměrech, tvaru a také prostředí. Kapacita samotného vodiče je velmi malá, kapacita dvou izolovaných desek je mnohem větší. Příkladem toho je deskový kondenzátor. [5, 7]

Elektrické pole indukované zrychleně se pohybujícím nábojem

Z Maxwellových rovnic lze odvodit vztah pro intenzitu elektrického pole E od zrychleně se pohybujícího náboje

$$E = E_c \left(\frac{1}{r^2} \right) + E_v \left(\frac{1}{r^2}, \frac{v}{c} \right) + E \left(\frac{1}{r, a} \right) \quad (14)$$

kde E_c je intenzita elektrického pole [$V \cdot m^{-1}$]
 r je vzdálenost od náboje
 E_v je intenzita elektrického pole
 v je rychlost náboje
 c je rychlost světla
 a je zrychlení

První člen této rovnice E_c odpovídá elektrostatickému članku a zmenšuje se vzdáleností od náboje.

Druhý člen rovnice E_v souvisí s rychlostí a jeho velikost je úměrná rychlosti náboje a rychlosti světla.

Velikost třetího členu je úměrná zrychlení náboje. Pro tento člen intenzity elektrického pole E indukovaného elektrickým nábojem q , který se pohybuje se zrychlením, můžeme odvodit z Maxwellových rovnic vztah:

$$E_{(r,t)} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \frac{q}{r} a_k \left(t - \frac{r}{c}\right) \quad (15)$$

kde E je intenzita elektrického pole

π je Ludolfovo číslo

ϵ_0 je permitivita

c je rychlost světla

q je elektrický náboj

r je vzdálenost od náboje

a_k je zrychlení

t je čas

Tento vztah objasňuje příčinu velkého množství přírodních jevů např. vznik televizních elektromagnetických vln, vznik rentgenového záření, vznik synchrotronového záření. [6]

2.2. Pole magnetické

Základním projevem magnetického pole je magnetická síla. Je tvořeno buď vodiči, jimiž protéká proud, pohybujícími se elektricky nabitými částicemi nebo zmagnetizovanými tělesy. [5]

Magnetické pole elektrického proudu

Toto pole vzniká v okolí vodičů, kterými prochází elektrický proud. Tuto souvislost zjistil v roce 1820 dánský fyzik H.CH. Oersted.

Magnetické pole se značí pomocí magnetických indukčních čar. Jsou to uzavřené orientované křivky, jejichž tečny mají v daném bodě směr velmi malé magnetky. Severní pól magnetky určuje orientaci magnetické indukční čáry. Orientaci indukčních čar lze určit i Ampérovým pravidlem pravé ruky. [5, 7]

Intenzita magnetického pole H

Je definována vztahem:

$$H = \frac{U_m}{l} \quad (16)$$

kde H je intenzita magnetického pole [$A \cdot m^{-1}$]

U_m je napětí

l je délka indukční čáry

Je to vektorová veličina, jejíž směr je dán magnetickému napětí U_m připadajícím na jednotku délky indukční čáry l . [36]

Magnetická indukce B

„Magnetická indukce je vektorová veličina. Vektor magnetické indukce B je rovnoběžný s tečnou k indukční čáře v daném místě magnetického pole a jeho směr odpovídá orientaci indukční čáry“. [7]

$$B = \frac{F_m}{Il} \quad (17)$$

kde B je magnetická indukce [T]

F_m Magnetická síla

I Elektrický proud

l Délka vodiče

Z tohoto vztahu vyplývá, že je vektor magnetické indukce kolmý ke směru proudu i ke směru magnetické síly F_m . Zde platí Flemingovo pravidlo levé ruky. [7]

Částice s nábojem v magnetickém poli

Magnetická síla může vzniknout i tehdy pohubuje – li se částice s nábojem mimo látku třeba ve vakuu. Síla F_m , která vzniká v důsledku pohybu elektronů, je kolmá k indukčním čarám a ke směru rychlosti. [7]

$$F_m = BQv \quad (18)$$

kde F_m je síla
 B je magnetická indukce
 Q je velikost náboje
 v je rychlost

Působením této síly dojde k zakřivení trajektorie, to má za následek i změnu magnetické síly, která je v tomto případě dostředivá. Velmi důležitý je také fakt, že při pohybu částice s nábojem ve směru magnetických indukčních čar magnetická síla nevzniká a magnetické pole na částice nepůsobí. [5, 7]

Magnetické látky

Magnetickou látku z hlediska působení magnetického pole charakterizuje veličina permeabilita μ . Pro porovnávání magnetických látek byla zavedena veličina relativní permeabilita μ_r , která je definována vztahem: [7]

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (19)$$

kde μ_r je relativní permeabilita
 μ_0 je permeabilita vakua
 μ permeabilita

Látky můžeme rozdělit jako magneticky měkké materiály a magneticky tvrdé materiály.

Magneticky měkké materiály se velmi snadno zmagnetizují, ale ihned po zániku magnetického pole přestávají být magnetické.

Magneticky tvrdé materiály zůstávají i po zániku magnetického pole magnetické, mají chování trvalých magnetů.

Další skupinou jsou feromagnetické látky (ferity), jsou to sloučeniny oxidu železa s oxidy jiných kovů (Mangan, Barium). Tyto látky magnetické pole zesilují. [5, 7, 8]

Nestacionární magnetické pole

Toto magnetické pole je proměnné v závislosti na čase a vyvolává elektromagnetickou indukci.

Elektromagnetická indukce

Umístíme – li vodivou smyčku či cívku do proměnného magnetického pole, vznikne v ní indukované elektrické pole. Pokud se vodič nachází v uzavřeném obvodu, prochází jím indukovaný elektrický proud.

Elektromagnetická indukce byla objevena M. Faradayem, který pracoval na základech Oerstedova pokusu a zformuloval zákon: Faradayův zákon elektromagnetické indukce, který zní: „*Změní – li se magnetický indukční tok uzavřeným vodičem za dobu Δt a $\Delta\Phi$, indukuje se ve vodiči elektromotorické napětí*“. Jehož střední hodnota je určena podle vztahu: [7]

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (20)$$

kde U_i je elektromagnetická indukce [V]
 $\Delta\Phi$ je změna magnetického indukčního toku
 Δt je čas

Změna magnetického indukčního toku $\Delta\Phi$ je způsobena změnou magnetické indukce nebo změnou plochy. Lenzův zákon: „*Indukovaný elektrický proud v elektrickém obvodu má takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického pole, která vyvolala magnetický proud*“. [7]

Vířivé proudy magnetického pole

Vířivé proudy vznikají ve vodičích, které se pohybují v nestacionárním magnetickém poli. Tyto proudy jsou indukované, takže se podle Lenzova zákona snaží zabránit změně, která je vyvolala, a uzavírají se po smyčkách nejmenšího elektrického odporu v kolmých plochách na směr nestacionárního magnetického pole. Vodič se těmito proudy zahřívá, proto se jejich vznik omezuje tím, že vodič velkých objemů je složen z navzájem elektricky izolovaných plechů, vířivé proudy jsou pak mnohem menší. [3, 5]

Vlastní indukce

Vlastní indukci způsobují změny magnetického pole vytvářeného proudem ve vodiči, vzniká zde indukované napětí, které má opačný směr než elektromotorické napětí zdroje obvodu s vodičem. Vlastní indukci ovlivňuje vlastnost vodiče, rozměry vodiče, materiál jádra a v případě cívky i počet závitů. Všechny tyto vlastnosti zahrnuje veličina indukčnost L . Velké indukčnosti dosahují cívky s uzavřeným feromagnetickým obvodem, říkáme jim tlumivky. [5, 7]

Ve vodiči se indukuje elektromotorické napětí, které je dáno vztahem: [5]

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (21)$$

kde U_i je elektromotorické napětí

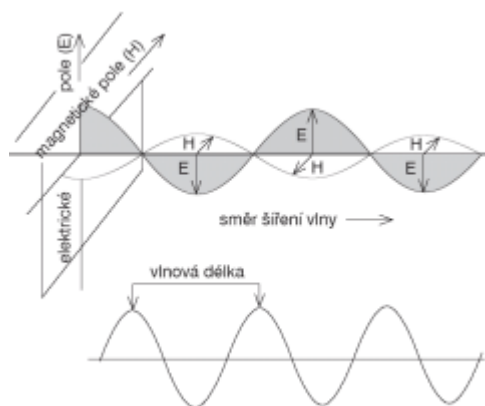
L je indukčnost

ΔI je změna proudu

Δt je změna času

2.3. Elektromagnetické vlnění

Elektromagnetické vlnění (obr. č. 2.1) má dvě složky a to elektrickou, kterou charakterizuje vektor elektrické intenzity E a magnetickou, kterou charakterizuje vektor magnetické indukce B . Tyto vektory, jsou na sebe navzájem kolmé, mají souhlasnou fázi a jejich vlnění probíhá napříč požadovanému směru vlnění. [17, 19]



Obr. č. 2.1 – Elektromagnetické vlnění [49]

Díky Maxwellovým rovnicím víme, že elektromagnetické pole má v podstatě charakter elektromagnetické vlny, která se šíří prostorem nebo prostředím. Tato vlna je charakterizována rychlostí šíření, vlnovou délkou a frekvencí. [17, 19]

Rychlost šíření elektromagnetické vlny

Rychlost šíření je dána vztahem:

$$c = f\lambda \quad (22)$$

kde f je frekvence
 λ je vlnová délka

Vlnová délka

Značí se řeckým písmenem λ jednotkou je metr. K výpočtu můžeme použít vztah z předcházející rovnice nebo dle vztahu Louise – Victora de Broglie, z kterého vyplývá, že i částice lze popsat vlnovou délkou: [37]

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (23)$$

kde h je Planckova konstanta
 p je hybnost
 m je hmotnost
 v je rychlost
 c je rychlost šíření světla

Frekvence

Vyjadřuje počet opakování period za jednotku času. Jednotkou je Hertz (Hz). Zde také můžeme použít předchozí vztah: [38]

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (24)$$

kde f je frekvence
 c je rychlost šíření světla
 λ je vlnová délka

Za vznikem elektromagnetického vlnění je pohyb elektrického a magnetického pole, nikoli kmitání oscilátorů nebo pohyb částic. Elektromagnetická vlna vzniká z vlny intenzity elektrického pole vektoru E a vlny magnetické indukce vektoru B .

Intenzitu elektrického pole vlny lze rozdělit do tří složek podle osy x , y a z . Vektor intenzity elektrického pole pak vypadá takto: [19]

$$E = (E_x = 0, E_y = 0, E_z = E_A \sin(\omega t - ky)) \quad (25)$$

kde E je intenzita elektrického pole vlny
 E_x je intenzita elektrického pole ve směru x
 E_y je intenzita elektrického pole ve směru y
 E_z je intenzita elektrického pole ve směru z
 E_A je amplituda elektrického pole $\langle -E_A; E_A \rangle$

Magnetickou indukci rozdělíme také do tří složek podle osy x , y , z . Zde kmitá vektor podél osy x . Vektor magnetické indukce dosahuje pak hodnot:

$$B = (B_x = (B_A \sin(\omega t - ky)), B_y = 0, B_z = 0) \quad (26)$$

kde B je intenzita magnetického pole vlny
 B_x je intenzita magnetického pole ve směru x
 B_y je intenzita magnetického pole ve směru y
 B_z je intenzita magnetického pole ve směru z
 B_A je amplituda magnetického pole $\langle -B_A; B_A \rangle$

Elektromagnetické vlnění nemůže být nikdy podélné a to z důvodu, že složky E a B jsou na sebe vždy kolmé. Také platí omezení:

$$|E_A| = c|B_A| \quad (27)$$

kde c je konstanta rychlosti šíření světla ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

E_A je amplituda elektrického pole $\langle -E_A; E_A \rangle$

B_A je amplituda magnetického pole $\langle -B_A; B_A \rangle$

Šíří – li se prostorem vlna, prochází s ní energie, tu vyjadřuje hustota energie elektromagnetického vlnění, což je energie obsažená v 1 m^3 . [19]

$$\varepsilon = \varepsilon_0 E_0^2 = \frac{B_0^2}{\mu_0} \quad (28)$$

Intenzita elektromagnetického vlnění I

Intenzita I je úměrná druhé mocnině amplitudy elektrického pole $I \sim E_A^2$, intenzita klesá se vzdáleností r od bodového zdroje $I \sim \frac{1}{r^2}$.

Elektromagnetická interakce

Elektromagnetická interakce je působení mezi elektricky nabitými částicemi. Při něm si prostřednictvím elektromagnetického pole složeného z fotonů tyto částice předávají hybnost a energii, ta je větší než výstupní práce a tím dochází k uvolnění elektronu – ionizaci.

Foton je elementární částice, která zapříčiňuje elektromagnetickou interakci. Fotony při ní mohou zanikat i vznikat. Jejich elektrický náboj je nulový. [4, 19, 20]

Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum (obr. č. 2,2) je rozsah elektromagnetického záření.

Dělení:

Radiové vlny

Jejich vlnová délka je od 1 milimetru až po tisíce kilometrů. Dělí se na:

Extrémně dlouhé vlny, které mají frekvenci 3 až 3000 Hz.

Velmi dlouhé vlny, jejichž frekvence se pohybuje od 3 až do 30 kHz.

Dlouhé vlny, které mají frekvenci 30 až 300 kHz.

Střední vlny s frekvencí 0,3 až 3 MHz.

Krátké vlny s frekvencí 3 až 30 MHz.

Velmi krátké vlny s frekvencí 30 až 300 MHz.

Ultra krátké vlny s frekvencí 0,3 až 3 GHz.

Super krátké vlny s frekvencí 3 až 30 GHz.

Extrémně krátké vlny s frekvencí 30 až 300 GHz.

Mikrovlny

Jejich vlnová délka je větší než 1 mm a menší než 1 m a jejich frekvence se pohybuje od 300 MHz až 300 GHz.

Infračervené záření

Frekvence tohoto záření je od 300 GHz do 400 THz.

Viditelné světlo

Jeho vlnová délka je 400 až 750 nm a frekvence $3,9 \times 10^{14}$ Hz až $7,9 \times 10^{14}$ Hz.

Ultrafialové záření (UV)

Jeho vlnová délka je 400 až 10 nm a frekvence 10^{15} až 10^{17} Hz.

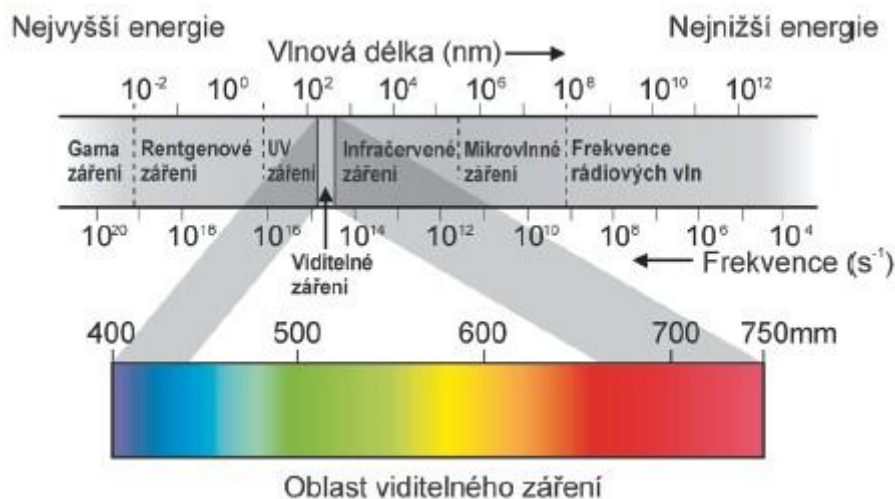
Rentgenové záření

Jeho vlnová délka je 10 nm až 100 pm a jeho frekvence je v rozmezí 30 PHz až 60 EHz.

Jedná se o ionizující záření.

Gama záření

Jeho vlnová délka je kratší než 124 pm a frekvence větší než 2,42 EHz. Je to záření ionizující. [17, 18]



Obr. č. 2.2 – Elektromagnetické spektrum [50]

Ionizující záření

Mezi toto záření patří rentgenové záření a gama záření. Je to záření, které při průchodu fotonu hmotou vytváří elektricky nabitě částice. Pokud toto záření dopadne na buňky živého organismu, nastává ionizace DNA, tzn. jeho poškození.

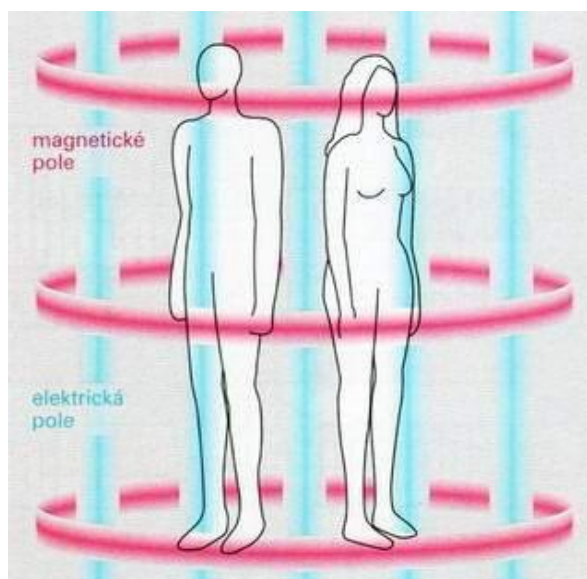
Neionizující záření

Mezi toto záření patří záření o vyšší vlnové délce (ultrafialové záření, infračervené záření, viditelné světlo, mikrovlny a radiové vlny). Toto záření je pravým opakem ionizujícího záření, při jeho průchodu hmotou nevznikají elektricky nabitě částice. [18]

3. Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus

Byla provedena celá řada studií, zabývajících se působením neionizujícího záření na člověka. Řada z nich prokázala negativní vliv na lidský organismus. Druhou skupinu tvoří studie, které prokázaly, že elektromagnetické pole na lidský organismus nepůsobí. Bohužel je ale často výsledek těchto studií ovlivněn sponzorem výzkumu. Dalším negativem provedených studií je to, že jich je řada prováděna na zvířatech. Nedá se tedy přesně říci, že elektromagnetické pole není pro člověka škodlivé.

Jediné co je opravdu prokázané, je to, že neionizující záření má tepelné účinky na člověka. To je dáno tím, že živé organismy jsou z velké části složeny z vody (polární molekula H_2O), jejíž relativní permitivita $\epsilon_r = 80$. Při působení střídavého elektrického pole na molekulu vody dochází k natočení ve směru intenzity elektrického pole jedním i druhým směrem, tento jev se nazývá střídavá polarizace. Roste frekvence, efektivní permitivita klesá, ztrátový úhel se zvyšuje a energie elektrického pole se přeměňuje na teplo. Proto dochází k ohřevu tkání obsahujících vodu. [21, 22, 24, 25]



Obr. č. 3.1 – Pronikání složek elektromagnetického pole lidským tělem

Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je schopnost zařízení, systémů či přístrojů vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů, a současně svou elektromagnetickou činností neruší jiná zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Elektromagnetická kompatibilita technických systémů je schopnost technických systémů správně pracovat, i když na ně působí jiné zdroje elektromagnetického vlnění. Toho se využívá např. u elektronicky řízeného systému v letadle, řídicích systémů raket, mikroprocesorových systémů řízení jeřábu, dále ke snížení rušení rádiového spojení, ke snížení poškození telefonních ústředěn, faxů a telefonů při bouřce a k zamezení havárií ve zdravotnictví, kde dochází k rušení lékařského vybavení.

Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů se zabývá působením elektromagnetického pole na životní prostředí a dovolenými stupni rušivých i užitečných signálů s ohledem na působení na živé organismy. Problematikou elektromagnetické kompatibility se zabývá celá řada lékařských výzkumných pracovišť po celém světě. V České Republice jsou stanoveny limity elektromagnetické kompatibility biologických systémů Nařízením vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením s účinností od 30. 4. 2008.

Elektromagnetické vlny vstupují do organismů buď absorpcí nebo indukci a to má tepelný nebo netepelný účinek. [10, 28, 2]

3.1. Limity neionizujícího záření

Limity neionizujícího záření jsou stanoveny nařízením vlády č. 1/2008 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, které je stanoveno podle § 108 odst. 3 zákona č. 258//2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a § 21 písm. a) zákona č. 309/2006 Sb. (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) a dále podle zákona č. 262/2006 Sb., zákoníku práce.

Limity jsou stanoveny pouze pro termické působení elektromagnetického pole, které je jako jediné prokázané. Proto celá řada organizací usiluje o jejich snížení a také o to, aby do nich byly zahrnuty biologické vlivy.

Limity jsou stanoveny pro různé druhy veličin, a to pro modifikovanou indukovanou proudovou hustotu, měrný absorbovaný výkon a hustotu zářivého toku elektromagnetické vlny. [10]

Nejvyšší přípustné hodnoty:**Modifikovaná proudová hustota J_{mod}**

„Modifikovaná proudová hustota je definována jako proudová hustota, tedy proud tekoucí kolmo k rovinné ploše s obsahem 100 mm^2 dělený tímto obsahem plochy, která je modifikována filtrem s frekvenční charakteristikou:“ [10]

$$J_{\text{mod}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{\beta + j2\pi f}{4\beta + j2\pi f} \times \frac{\alpha}{\alpha + j2\pi f} \quad [\text{A.m}^{-2}] \quad (29)$$

kde α je $2000 \pi \text{ s}^{-1}$
 β je 7 s^{-1}
 j je $\sqrt{-1}$
 π je Ludolfovo číslo
 f je frekvence

Tabulka č. 3.1 – Nejvyšší přístupné hodnoty modifikované proudové hustoty [10]

Modifikovaná proudová hustota J_{mod}			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	J_{mod} [A.m^{-2}]	Frekvence f [Hz]	J_{mod} [A.m^{-2}]
$300 - 10^7$	$\sqrt{2} \times 0,01$	$0 - 10^7$	$\frac{\sqrt{2} \times 0,01}{5}$

Hustota zářivého toku elektromagnetické vlny

Hustota zářivého (tabulka č. 3.2) toku elektromagnetické vlny je vyjádřena zářivým tokem Φ a plochou S , kterou prochází kolmo ke směru šíření vlny. V tomto případě je S průměrná hodnota hustoty zářivého toku dopadajícího na plochu 20 cm^2 na jakémkoli místě těla osoby. [10]

Tabulka č. 3.2 – Nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivého toku [10]

Hustota zářivého toku S			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	S [W.m^{-2}]	Frekvence f [Hz]	S [W.m^{-2}]
$> 10^{10} - 3.10^{11}$	50	$> 10^{10} - 3.10^{11}$	10

Měrný absorbovaný výkon

Měrný absorbovaný výkon (tabulka č. 3.3) nebo také specifická míra absorpce (SAR), jejíž jednotkou je W.kg^{-1} , udává poměr absorpce elektromagnetického vlnění živou tkání. Přičemž dochází ke zvyšování teploty ve tkáni. [10]

Tabulka č. 3.3 – Nejvyšší přípustné hodnoty měrného absorbovaného výkonu [10]

Měrný absorbovaný výkon SAR [W.kg^{-1}]		
Frekvence f od 10^4 do 10^{10} Hz	Zaměstnanci	Ostatní osoby
SAR - průměrovaný přes kterýkoli 6 minutový interval a celé tělo	$0,4 \text{ W.kg}^{-1}$	$0,08 \text{ W.kg}^{-1}$
SAR - průměrovaný přes kterýkoli 6 minutový interval a pro kterýchkoli 10 g tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	10 W.kg^{-1}	2 W.kg^{-1}
SAR - průměrovaný přes kterýkoli 6 minutový interval a pro kterýchkoli 10 g tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	20 W.kg^{-1}	4 W.kg^{-1}

Tabulka č. 3.4 – Referenční úrovně pro elektrickou intenzitu [10]

Referenční úrovně intenzity elektrického pole E v nepřetržité expozici			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	E [V.m^{-1}]	Frekvence f [Hz]	E [V.m^{-1}]
< 1	-	< 1	-
1 – 8	20000	1 – 8	10000
8 – 25	20000	8 – 25	20000
25 – 280	$5 \cdot 10^5 / f$	25 – 280	$2,5 \cdot 10^5 / f$
50	10000	50	5000
$820 - 3 \cdot 10^3$	610	$800 - 3 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5 / f$
$3 \cdot 10^3 - 65 \cdot 10^3$	610	$3 \cdot 10^3 - 150 \cdot 10^3$	87
$65 \cdot 10^3 - 10^6$	610	$150 \cdot 10^3 - 10^6$	87
$10^6 - 10^7$	$610 \cdot 10^6 / f$	$10^6 - 10^7$	$87 \cdot 10^3 / f^{0,5}$
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	61	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	28
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	137	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	61

Tabulka č. 3.5 – Referenční úrovně pro magnetickou indukci [10]

Referenční úrovně pro magnetickou indukci B v nepřetržité expozici			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	B [T]	Frekvence f [Hz]	B [T]
< 1	0,28	< 1	0,056
1 – 8	$0,2/f^2$	1 – 8	$0,04/f^2$
8 – 25	$0,025/f$	8 – 25	$0,005/f$
25 – 280	$25 \cdot 10^{-3}/f$	25 – 280	$0,005/f$
50	$500 \cdot 10^{-6}$	50	$100 \cdot 10^{-6}$
820 – $3 \cdot 10^3$	$30,7 \cdot 10^{-6}$	800 – $3 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{-6}$
$3 \cdot 10^3$ – $65 \cdot 10^3$	$30,7 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^3$ – $150 \cdot 10^3$	$6,25 \cdot 10^{-6}$
$65 \cdot 10^3$ – 10^6	$2/f$	$150 \cdot 10^3$ – 10^6	$0,92/f$
10^6 – 10^7	$2/f$	10^6 – 10^7	$0,92/f$
10^7 – $4 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	10^7 – $4 \cdot 10^8$	$0,092 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$10^{-11} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$4,6 \cdot 10^{-12} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	$0,20 \cdot 10^{-6}$

Intenzita elektrických a magnetických polí domácích spotřebičů

Tabulka č. 3.6 – Intenzita elektrického pole domácích spotřebičů na vzdálenost 30 cm. [27]

Elektrický spotřebič	Intenzita elektrického pole [$V \cdot m^{-1}$]
Žehlička	120
Mixér	100
Topinkovač	80
Vysoušeč vlasů	80
Barevný televizor	60
Vysavač	50
Elektrický trouba	8
Žárovka	5

Tabulka č. 3.7 – Intenzita magnetického pole domácích spotřebičů. [27]

Elektrický spotřebič	Intenzita magnetického pole [μT]
Vysoušeč vlasů	0,01 – 7
Vysavač	0,08 – 9
Mikrovlnná trouba	4 – 8
Elektrická trouba	0,15 – 0,5
Žehlička	0,12 – 0,3
Počítač	< 0,01
Lednička	0,01 – 0,25
Barevný televizor	0,04 – 2

Vzdálenost 30 cm je optimální vzdálenost, při které používáme tyto spotřebiče. Výjimku tvoří vysoušeč vlasů, jehož optimální vzdálenost jsou 3 cm. Intenzita magnetického pole pro tuto vzdálenost je 6 – 2000 μT . [27]

3.2. Účinky elektromagnetického vlnění podle některých studií

Tyto studie můžeme dělit mnoha způsoby:

Studie In vitro (v češtině „ve zkumavce“) se používají v biologii, medicíně aj. Jedná se o zkoumání mimo živou tkáň.

Studie In vivo (v češtině „v živém“) se používají převážně v biologii. Jedná se o zkoumání v živých organismech.

Kohortová studie slouží ke zkoumání osob rozdělených do skupin, jejichž výsledky jsou porovnávány.

Případová studie se týká pouze určitého případu, který je většinou ojedinělý.

Epidemiologická studie se zabývá výskytem chorob a faktorů, které je ovlivňují.

Statistická studie neboli meta-analýza vychází z již provedených výzkumů zabývajících se stejným tématem. [26]

Provedené studie:

Změna mozkových proudů a prokrvení mozku vlivem záření z mobilu

Švýcarští vědci, pod vedením profesora doktora Petera Achermanna, z Institutu farmakologie a toxikologie z Univerzity v Curychu, v roce 2007 potvrdili, že elektromagnetické záření mobilních telefonů mění mozkovou aktivitu. Zaměřovali se na mozek a spánek zdravých mladých lidí. Výzkum probíhal v jejich „spánkové laboratoři“, kde byli lidé, na nichž se výzkum prováděl, vystaveni elektromagnetickému záření,

odpovídajícímu záření mobilních telefonů, pro nějž je charakteristické, že je vysíláno v pulzech. Pro srovnání byly osoby, vystaveny také záření o stejné frekvenci ale o vysílání kontinuální, nikoli v pulzech. Poté bylo změřeno jejich EEG a to ukázalo, že kontinuální vysílání nemělo žádný vliv na změnu mozkových proudů. Zato při záření vysílaném v pulzech se aktivita jejich mozku změnila nejen v době před spaním ale po celou noc. Tento efekt se projevil nejen na ozářené straně hlavy ale i na straně druhé. Tento důsledek podle vědců zapříčiňuje thalamus, což je zadní část mozku, která zprostředkovává přenos informací z periférií do oblastí mozkové kůry a důležitých center mozečku. Díky němu se záření rozšiřuje na celou mozkovou kůru. V tomto výzkumu vědci také přišli na to, že se díky ozáření zvýšil krevní tlak v určitých částech mozku. [21]

Vliv GSM sítí na imunitu

GSM neboli Globální Systém pro Mobilní komunikaci je digitální buňková radiotelefonní síť, která pracuje ve frekvenčním pásu GSM 900, GSM 1800 a GSM 1900. Tuto studii provedli rakouští vědci z institutu Salzburžské kliniky. Na osoby bylo vystaveno záření o relativně malé intenzitě ($0,5$ až 1 V.m^{-1}), na poměrně krátkou dobu. U osob, které se podrobily tomuto výzkumu, byla zjištěna změna v obraze kortizolu, což je hormon tvořený nadledvinkami, který pomáhá k rozkladu bílkovin, glukózy a lipidů a upravuje imunitní systém. Dále byly zjištěny změny v obraze alfa-amylázy (trávicího enzymu) a imunoglobulinu A (protein, vyskytující se v sekretech – slinách a slzách). Výsledkem studie je, že je imunitní systém v důsledku záření oslabován a předběžně poškozován a také se dá předpokládat, že dlouhodobější působení záření vede ke stresovým zátěžím, které mohou vyvolat rozsáhlejší zdravotní komplikace. [21]

Výzkum Interphone

Tento výzkum se zabývá tím, zda může vystavování se elektromagnetickému poli vyzařovaného z mobilních telefonů zvýšit riziko nádorového či jiného onemocnění. Rozhodla se ho spustit Světová zdravotnická organizace WHO a Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny IARC. Je do něho zapojeno 13 zemí z celého světa. V tomto projektu se zaměřují na rakoviny, které se objevují v blízkosti hlavy a krku, jsou to gliomy, meningiomy, akustické neurinomy, nádory příušní žlázy a také leukémie a lymfomy. Výsledky tohoto výzkumu měly být zveřejněny již v roce 2006, to však bylo odloženo

a doposud výsledky nejsou známy. Platí jen výzva k opatrnosti, že by mobilní telefony měly být používány v dostatečné vzdálenosti od hlavy, nejlepším řešením je hands - free, pokud nejsou používány, měly by být vypnuté. U dětí by mělo být používání mobilních telefonů jen ve velmi rozumné míře, protože jejich mozek se stále vyvíjí. Jeden z vědců, zástupce za Austrálii, v roce 2008 zveřejnil, že se kupí důkazy o vlivu elektromagnetických vln vyzařujících mobilní telefony na vznik rakoviny. [22, 25, 35]

Studie ECOLOG – Institut

Dr. Kerstin Hennies a kolektiv vědců z Německa vypracovali zprávu o výsledcích dosavadních studií pro firmu T-mobile. Závěrem studie bylo, že dosažené výsledky všech výzkumů vývoje rakoviny dokládají účinky již při výkonových hustotách menších než 1 W/m^2 . Dále potvrzují negativní vliv na imunitní systém od 1 W/m^2 a zvýšené vylučování stresových hormonů. Zadavatelská firma T-mobile odmítla tuto studii zveřejnit. Zveřejnění provedli sami autoři. [35]

Study of the health of people living in the vicinity of mobile phone base stations

Tato studie byla provedena Prof. Dr. Roger Santini a kolektivem vědců z Národního institutu pro aplikovaný výzkum v Lyonu v roce 2002. Tento výzkum byl proveden, na lidech žijících ve vzdálenosti 100 m od základnové stanice a lidech žijících ve vzdálenosti 300 m a více od základnové stanice. U první uvedené skupiny lidí byl prokázán nárůst únavy, dráždivosti, závratí, bolesti hlavy, poruch spánku, sklonů k depresi, ztrát paměti a poruch koncentrací. [35]

Studie Increased Incidence of Cancer Nera a Cell – Phone Transmitter Station

V dubnu v roce 2004 skupina vědců z Kaplan Medical Center Rechovot, lékařské fakulty z Tel Avivu a Pediatrické ambulantní kliniky v Kupat Holimu provedla studii, ve které porovnávala zdravotní údaje osob žijících v blízkosti základnové stanice a osob žijících mimo dosah vysílače. V první uvedené oblasti bylo zkoumáno 622 osob, žijících zde 3 – 7 let, v druhé uvedené oblasti to bylo 1222 osob. Vyplývající rizika rakoviny v první uvedené oblasti byla 4,15 krát vyšší než v druhé uvedené oblasti. [35]

Studie působení elektromagnetického pole na děti

V květnu v roce 2008 zveřejnila univerzita v Aarhusu a univerzita v Los Angeles epidemiologickou studii, která se týkala působení elektromagnetického pole na děti. 13 000 dětí bylo pozorováno od prenatálního vývoje až do věku 7 let. Bylo zjištěno, že děti budou trpět poruchami chování o 50 % více, pokud jejich matky v těhotenství pravidelně používali mobilní telefon. O 80 % pak pokud dítě samo do 7 let používá mobilní telefon. [35]

Výskyt autismu u dětí

Tato studie byla zveřejněna Australasian Journal of Clinical Environmental Medicine ve Washingtonu. Byl zjištěn přímý vztah mezi elektromagnetickými poli používanými pro přenos informací a následným příznakem autismu. [35]

Studie The effects of electric fields on charged molecules and particles in individual microenvironments

Tato studie publikovaná v roce 2007, britskými vědci, se zabývá zvýšeným rizikem respiračních chorob a infekcí z malých vzdušných částic jako alergenů, bakterií a virů působením elektromagnetického pole tvořeného v každodenním prostředí. Až 90% vzdušných částic může být ovlivněno uměle vytvořeným elektromagnetickým polem, to způsobuje urychlené ukládání v plicích a na pokožce. Dochází k rozšiřování ložisek nepříznivých organismů a jejich většímu ukládání a infekci. Tyto ložiska zvyšují toxickou zátěž, bakteriální infekce a vznik podmínek pro astma. Tomu lze předejít např. správným druhem materiálů, dodržováním určitého stupně vlhkosti vzduchu, vypínáním nepoužívaných přístrojů elektrického obvodu. [35]

4. Ochrana člověka před působením elektromagnetického pole

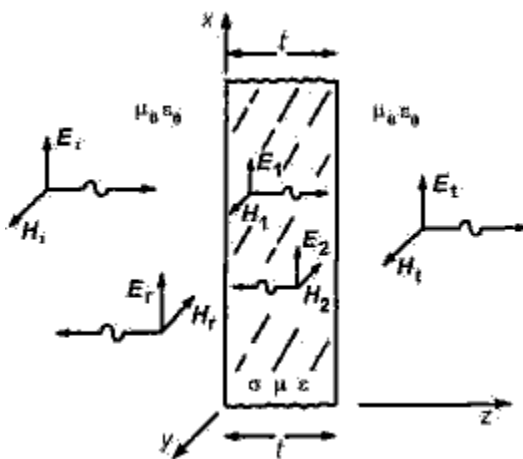
Jak už bylo zmíněno, každý z nás je vystavován expozici elektromagnetického pole. A i když nebylo vědecky prokázáno škodlivé působení na člověka, měli bychom se před jeho expozicí chránit. Jedním ze způsobů ochrany jsou stínící textilie, ty jsou jedním z prvků elektromagnetické kompatibility.

Tyto textilie fungují na principu Faradayovy klece, jejíž označení je odvozeno od anglického fyzika Michaela Faradaye, který objevil účinek stínění elektrického pole. Princip klece spočívá v tom, že se elektrický náboj nedostane do vnitřního prostoru vodiče a je rozložen pouze na jeho povrchu, tzn., že uvnitř vodiče nepůsobí žádné elektromagnetické ani elektrické pole. [28, 36]

4.1. Elektromagnetické stínění

Elektromagnetické stínění je jeden z nejúčinnějších způsobů jak zmenšit rušivé vyzařování na straně rušivých signálů a zároveň zvýšit odolnost na přijímací straně přijímání rušivých signálů. Stínění je způsob oslabení elektromagnetických rušivých signálů, čehož můžeme docílit pomocí stínících krytů. Takto můžeme chránit jednotlivé části, díly ale i celá zařízení. [28]

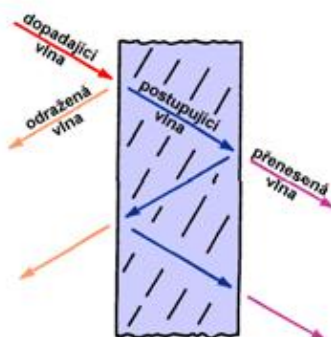
Princip stínění



Obrázek č. 4.1 – Kolmý dopad elektromagnetické vlny na stínící přepážku [29]

Na obrázku č. 4.1 je znázorněn princip stínění. Kolmé elektromagnetické vlny ve směru osy z , dopadají na stínící překážku. Některé vlny jsou odrazeny a některé absorbovány. Kolmá vlna je z hlediska stínění nejhorší variantou, snadněji proniká stínící

překážkou. Elektromagnetické vlny dopadající pod určitým úhlem jsou v oblasti stínění lepší, protože dochází k jejich snadnějšímu odrazení a tudíž průchod stínící překážkou je menší. [28, 29]



Obrázek č. 4.2 – Odraz a průnik elektromagnetických vln pod různým úhlem stínící překážkou [28]

Koeficient stínění

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} \quad (30)$$

kde

K_S je koeficient stínění

E_t je intenzita elektrického pole ve stíněném prostoru

H_t je intenzita magnetického pole ve stíněném prostoru

E_i je intenzita elektrického pole na stínící překážku

H_i je intenzita magnetického pole na stínící překážku [28]

Účinnost stínění SE

Jednotkou účinnosti stínění je decibel [dB].

Tabulka č. 4.1 – Hodnocení elektromagnetického stínění podle hodnot SE

Účinnost stínění [dB]	Kategorie hodnocení
0 - 10	Nedostatečné stínění
10 - 30	Stínění pro minimální požadavky
30 - 60	Stínění postačující pro většinu požadavků
60 - 90	Velmi dobré stínění
90 - 120	Vysoce kvalitní stínění

$$SE = 20 \log \frac{E_i}{E_t} = 20 \log \frac{1}{K_S} \quad (31)$$

kde SE je účinnost stínění
 E_i je intenzita elektrického pole na stínící překážku
 E_t je intenzita elektrického pole ve stíněném prostoru
 K_S je koeficient stínění

$$SE = 20 \log \frac{H_i}{H_t} = 20 \log \frac{1}{K_S} \quad (32)$$

kde SE je účinnost stínění
 H_i je intenzita elektrického pole na stínící překážku
 H_t je intenzita elektrického pole ve stíněném prostoru
 K_S je koeficient stínění [28]

4.2. Stínící textilie

Jedním ze způsobů elektromagnetického stínění je stínění pomocí textilií, ty mohou být ve formě pleteniny, tkaniny případně netkané textilie a musí být elektricky vodivé. K výrobě takovéto tkaniny potřebujeme vodivou přízi, tu lze použít, jako nekonečné vlákno (monofil, kabílek), nebo přízi vypředenou ze staplových vláken. Elektrickou vodivost textilií lze docílit i povrchovými úpravami jako je např. vakuově napařený kov, plazmový způsob nebo galvanické pokovení.

Tyto textilie se používají pro ochranné oděvy, pro ochranu citlivých přístrojů, na obaly pro skladování a dopravu citlivých součástek a pro odstínění kabelů. Výhodou využívání ke stínicímu účinku právě textilií je malá hmotnost, tvarovatelnost a flexibilita (pružnost, ohebnost).

Stínící účinek textilií závisí na obsahu kovu (stříbro, měď, hliník, nikl, ocel), elektrické vodivosti (respektive povrchové a objemové rezistivity), charakteru vodivého vlákna a na konstrukci textilie, ta je dána faktory: velikost oček u pleteniny, množství kontaktních bodů nití, dostava (počet nití na 1 cm nebo 10 cm u útku a osnovy), textilní vazba, hmotnostní podíl kovu na jednotku plochy. [11, 12]

Elektrická vodivost G

Elektrická vodivost je fyzikální veličina, která udává schopnost vést elektrický proud. Je dána vztahem:

$$G = \frac{I}{U} \quad (33)$$

kde G je elektrická vodivost
 I je elektrický proud protékající vodičem [S]
 U je elektrické napětí na koncích vodiče

Elektrickou vodivost lze vypočítat i ze vztahu:

$$G = \sigma \frac{S}{l} = \frac{1}{R} \quad (34)$$

kde σ je konduktivita látky
 S je obsah průřezu vodiče
 l je délka vodiče
 R je odpor vodiče [11]

Elektrická vodivost vlákna σ_E

Elektrická vodivost vlákna, je poměr mezi plošnou hustotou proudu a intenzitou elektrického pole, je dána vztahem:

$$\sigma_E = \frac{I \times l_V}{U \times S_V} = \frac{G \times l_V}{S_V} [S.m^{-1}] \quad (35)$$

kde σ_E je vodivost vlákna
 I je elektrický proud
 U je elektrické napětí
 l_V je délka vlákna
 S_V je plocha příčného průřezu
 G je vodivost [11]

Povrchová rezistivita

Je dána vztahem:

$$\rho_S = R_S \cdot \frac{O}{l} \quad (36)$$

kde ρ_S je povrchová rezistivita [Ω]
 R_S je povrchový odpor
 O je střední obvod (resp. délka elektrod)
 l je vzdálenost elektrod [41]

Objemová rezistivita

Je dána vztahem:

$$\rho_V = R_V \cdot \frac{S}{h} \quad (37)$$

kde ρ_V je objemová rezistivita [Ωcm]
 R_V je objemový odpor
 S je plocha elektrod
 h je tloušťka textilie [41]

4.2.1 Používané materiály

K výrobě stínících textilií jsou nejčastěji, pokud používáme staplovou přízi, využívány směsi standardních vláken jako je bavlna, polyester, polyamid a vodivého vlákna jako je nerezavějící ocel, postříbřená měď. Dále vlákna, jejichž základem je polyester nebo polyamid a ta jsou povrchově upravena nejčastěji stříbrem. Mohou být použita i uhlíková vlákna, vlákna aditivována uhlíkem nebo vlákna pokrytá solemi kovů. Aby bylo docíleno textilního charakteru je seskáno kovové vlákno s bavlněnou či jinou přízí.

Bavlna

Bavlna je přírodní vlákno získané z Bavlníků různých druhů. Bavlněné vlákno obsahuje celulózu, pektiny, bílkoviny, vosky, organické kyseliny, cukry a ostatní látky. Pro zlepšení jejich vlastností se provádí mercerace, čímž se zlepšuje sorpce, roste pevnost i

lesk. Mercerace je proces namáčení bavlny do koncentrovaného louhu sodného (NaOH) za současného napínání a chlazení.

Vlastnosti:

Pevnost bavlny za sucha je 2 – 4 cN, za mokra 100 -120 % pevnosti za sucha. Tažnost za sucha 6 -10 %, za mokra 100 – 110 % tažnosti za sucha. [11]

Polyester

Polyester je syntetické vlákno. Základní surovinou pro výrobu je diol etylénglykol a dikyselina tereftalová, jejichž polykondenzací vzniká polyetyléntereftalát, ten se poté zvlákňuje. Tyto vlákna se vyrábějí jako stříž, hedvábí (filament) nebo kabel.

Vlastnosti:

Teplota tání 258 °C. Pevnost 3,8 – 7,2 cN/dtex. Tažnost 50 -70 %. Odolnost v oděru. Nemačkovost. Příjemný omak. Vysoká odolnost na světle [11, 13]

Polyamid

Polyamid je syntetické vlákno. Nejznámějšími druhy jsou PA 6 a PA 6.6 (Nylon)

PA 6

Základní surovinou je fenol. Je vyráběn metodou polymerace, kdy směs kaprolaktamu s H₂O zahřejeme na 220 – 240 °C v inertní atmosféře. Poté následuje zvlákňování. Tyto vlákna se vyrábějí ve formě hedvábí nebo stříže.

Vlastnosti:

Pevnost za sucha 3,6 – 7,5 cN/dtex, za mokra 80 – 90 % pevnosti za sucha. Tažnost za sucha 23 – 55 %. Teplota tání je 220 °C. Vysoká odolnost v oděru.

PA 6.6

Základní surovinou jsou metanolvý roztok kyseliny adipové hexametyléndiamin. Je vyráběn metodou polykondenzace. Poté je zvlákňován. Vyrábí se ve formě hedvábí (filamentu) a stříže.

Vlastnosti:

Pevnost za sucha 3,6 – 4,1 cN/dtex. Tažnost za sucha 18-25 %.

Rozdíly mezi PA 6 a PA 6.6:

Bod tání PA 6 je 220 °C, bod tání PA 6.6 je 256 °C. PA 6.6 je pevnější. [11, 13]

Ocelová vlákna

Tyto vlákna se vyrábějí technikou tažení za studena. Tyto vlákna mají vysokou pevnost a nižší kujnost. Při použití cca 10 % těchto vláken dochází k tlumení 40 – 50 dB při 100 Mhz. [11]

Měděná vlákna

Pro výrobu těchto vláken se využívá techniky tažení za studena. Vlákna tak získávají díky deformačnímu zpevnění vysokou pevnost a nižší kujnost. Daleko častěji než samostatné vlákno se používá postrříbřené měděné vlákno.

Vlastnosti:

Bod tání 2083 °C, pevnost 0,45 GPa. [11, 13]

Uhlíková vlákna

Vyrábějí se především z předoxidovaného polyakrylonitrilonu, dále ze smol dehtu nebo viskózních vláken. Prvním procesem při výrobě uhlíkového vlákna je stabilizace, ta je prováděna působením tahového napětí při teplotách 220 – 300 °C. Dalším procesem je karbonizace, prováděná při teplotách 1000 – 1500 °C, tím se odstraní vodík a klesne množství dusíku a kyslíku. Poté následuje grafitizace při teplotě 1800 – 3000 °C, čímž se zvýší množství uhlíku. Celý proces je prováděn v inertní atmosféře.

Vlastnosti:

Pevnost 1,3 – 3 GPa, tažnost 0,2 – 1,3 %, nízká hmotnost. [11, 13]

Vlákna s přídavkem aditiv

Aditiva jsou chemické látky přidávané do výrobků ke zlepšení nebo upravení jejich vlastností, zůstávají rozptýlena ve hmotě. Jako aditiva lze použít polymery, organické látky a organické sloučeniny. Přidávají se do taveniny či roztoku před zvlákněním. Aditiva ke zvýšení elektrické vodivosti jsou oxidy kovů, uhlíková čern a polyalkylénglykoly, které jsou postupně rozpustné ve vodě. [33, 34]

Polyesterová a polyamidová vlákna povrchově upravená stříbrem

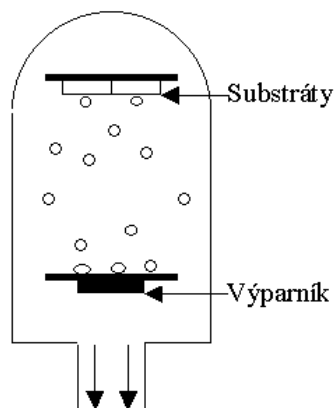
4.2.2 Povrchové úpravy

Stínícího účinku může být docíleno i pomocí povrchových úprav. Nejčastěji se používá měď, stříbro, zlato, platina a nikl. Tloušťka vrstvy je cca. $0,005 - 0,5 \mu\text{m}$. Při tomto způsobu stínění je však problémem to, že kovový povlak je značně tvrdý a má malé protažení. Dalším problémem je ohyb a kroucení, tím dochází k porušení nebo oddělení kovové vrstvy. Proto se pro zlepšení stálosti úpravy používají speciální katalyzátory nebo pokrytí kovové vrstvy speciální vrstvou na bázi polysiloxanů nebo polymerů. [12]

Vakuové napařování

Vakuové napařování neboli pokovování je nanášení částic kovu na upravovaný materiál (substrát). Tento způsob je vhodný pro kovy s nízkým bodem tání a snadným regenerováním páry, jako jsou měď, zlato a hliník. Nejčastěji se využívá vakuového napařování za tlaku $10^{-3} - 10^{-7} \text{ Pa}$. Principem úpravy je roztavení napařovaného materiálu a dosažení teploty, při níž se začíná odpařovat. Napařovaný materiál se ve vakuu odpaří do prostoru napařovací nádoby a zkondenzuje na povrchu upravovaného materiálu (substrátu).

[12, 32]

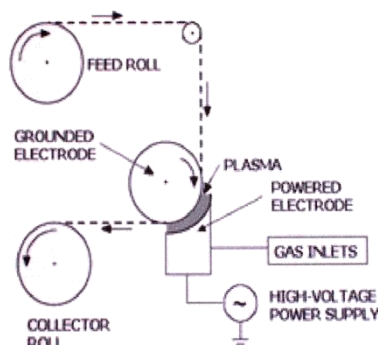


Obr. č. 4.3 – Princip napařování [46]

Nanášení plazmou

Princip nanášení plazmou je zobrazen na obr. č. 4.4. Plazma je ionizovaný plyn. Ionizace plynu je rozštěpení molekul na kationty a elektrony. Tyto elektrony se mohou připojovat k neutrálním molekulám a vytvářet tak anionty. Ionizovaný plyn obsahuje přibližně stejné množství elektronů a kationtů. Plazma je vodivá a ovlivnitelná elektromagnetickým polem. Současně s ionizací probíhá opačný děj rekombinace, kdy se nesouhlasně nabitě částice přitahují a vytvářejí neutrální molekuly. Ionizovaný plyn může

existovat za vzniku koróny, což je samostatný výboj. Plazma vyrazí kationty kovu z kovové negativně nabitě desky, ty se ukládají na povrch textilie.

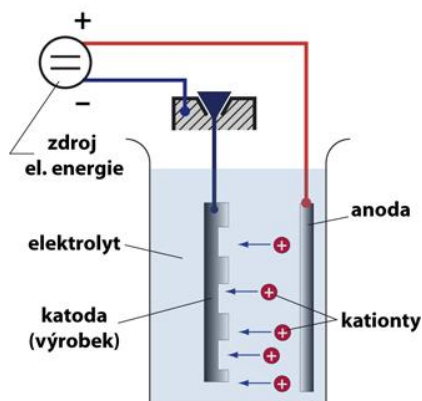


Obr. č. 4.4 – Princip nanesení plazmou [45]

Stabilita úpravy plazmou závisí na uskladnění (znečištění povrchu), teplotě, čase, typu použitého materiálu. [12, 32, 45]

Galvanické pokovování

Princip galvanického pokovování je zobrazen na obrázku č. 4.5. Je to proces vylučování kovu na anodě ze solí vodných roztoků stejnosměrným proudem na katodu. Na katodě nám vznikne rovnoměrný potah. Roztoky jsou většinou ze stálých solí kovu.



Obr. č. 4.5 – Princip pokovování [44]

Stabilita úpravy galvanickým pokovováním závisí na teplotě lázně, čase pokovování, napětí. [28]

4.2.3 Aplikace stínících textilií jako ochranných prostředků před nežádoucími účinky neionizujícího záření

Tyto textilie můžeme použít na výrobu oděvů chránících člověka před působením elektromagnetického záření, textilií pro domácnost, ochranných aplikací pro citlivé přístroje, stínících kabelů, ochranných obalů pro dopravu a pro skladování citlivých součástek. Dále mohou být tyto textilie vkládány do vnitřních kapes bund, sak a vest, ve kterých bývají uloženy mobilní telefony. Také se z těchto textilií vyrábějí pouzdra na mobilní telefony.

Oděvy chránící člověka před působením elektromagnetického záření

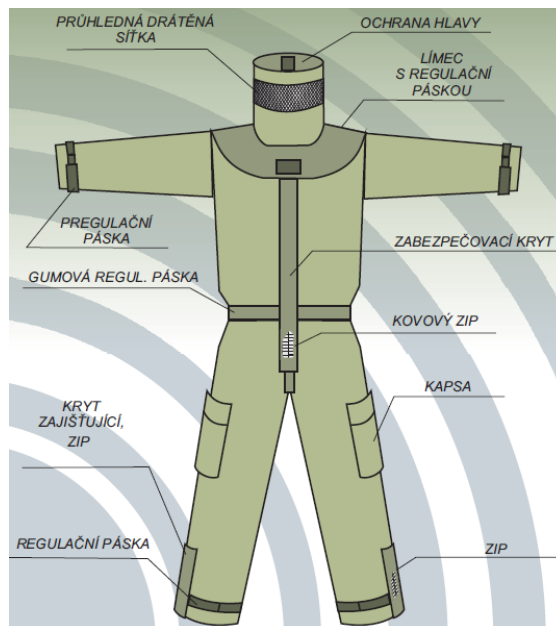
V následující části jsou uvedeny příklady ochranných oděvů, prádla a drobného textilu, které slouží k ochraně člověka před účinky elektromagnetického pole.

Kombinéza pro práci v elektromagnetických polích ESO 3 ALEKSANDER

Tato ochranná kombinéza (obr. č. 4.6 a 4.7) je výrobkem firmy PHU "ESO". Je vyrobena z vodivých měděných vláken. Skládá se ze tří vrstev, vnitřní vrstvy, která je z bavlněné podšívky, části základní, která je ze stínící textilie a povrchové vrstvy, která je z maskovací látky. Tento oblek se skládá z kombinézy a kapuce, v obličeji má průhlednou kovovou síťku a ochranný límec. Má dobré užité vlastnosti, je lehký, propouští vodní páry. Je doporučeno prát ho ručně do 40 °C za použití běžných pracích prostředků, dokonce ho lze i žehlit. Tento oblek je možné používat v pásmu od 260 MHz do 4 GHz. Charakterizuje účinnost stínění 18 dB pro rozkrok, 15 dB pro hrudník a srdce a 18 dB pro záda. Aby byla zaručena úplná bezpečnost je potřeba použít kožené rukavice a koženou obuv. [16]



Obr. č. 4.6 – Ochranná kombinéza [16]



Obr. č. 4.7 – Části ochranné kombinézy [16]

Tričko a trenýrky

Toto tričko trenýrky (obr. č. 4.8 a 4.9) je doporučeno nosit na jiné bavlněné tričko či trenýrky, čímž zvýšíme jejich životnost (méně praní, méně opotřebení). Jsou vyrobeny z postříbřeného polyamidu. Účinnost stínění je 35 dB při frekvenci 100 MHz. [40]



Obr. č. 4.8 – Tričko [40]



Obr. č. 4.9 – Trenýrky [40]

Kabát

Na výrobu tohoto letního kabátu (obr. č. 4.10) byla použita bambusová vlákna a stříbro. Navíc obsahuje antistatickou polyesterovou podšívku pro zvýšení komfortu. Účinnost stínění je 50 dB při frekvenci 1 GHz. [40,43]

Boxerky

Tyto boxerky (obr. č. 4.111) jsou vyrobeny dánskou firmou e-SAFEWEAR. Boxerky chrání intimní partii před zářením z mobilních telefonů, umístěných v kapse, ale také před radiovými vlnami a mikrovlnami. Jsou vyrobeny z bavlněných vláken a postříbřených měděných vláken. Účinnost stínění je 32 dB při frekvenci 1 GHz. [40]



Obr. č. 4.10 – Kabát [40]



Obr. č. 4.11 – Boxerky [40]

Stínící kukla

Stínící kukla (obr. č. 4.12) je určena pro ochranu hlavy a štítné žlázy. Je vyrobena z postříbřeného polyamidu s přídavkem elastomerových vláken. Dá se nosit i jako čepice. [40]

Stínící čelenka

Stínící čelenka (obr. č. 4.13) pro chránění hlavy převážně uší a čela. Je vyrobena z postříbřeného polyamidu s přídavkem elastomerových vláken. [40]



Obr. č. 4.12 – Stínící kukla [40]



Obr. č. 4.13 – Čelenka [43]

Textilie ochraňující člověka, textilie pro domácnost

Mezi tyto textilie, patří závěsy, prostěradla, přikrývky, dečky a jiné.

Faradayovi nebesa

Faradayovi nebesa (obr. č. 4.14) slouží k zlepšení kvality spánku. Jsou vyrobeny z polyesterových vláken, která jsou poměděná. Poskytují účinnost stínění 20 dB při frekvenci od 300 do 3000 MHz. Lze je ručně prát při mírné teplotě s jemným pracím prostředkem. [40]



Obr. č. 4.14 – Faradayovi nebesa [40]

4.3. Testování účinnosti stínění

Testování je velmi složité a velmi nákladné v naší republice je jen několik pracovišť, kde ho lze měřit. Existují dva druhy technologie měření a to technologie koaxiální a technologie vlnovodná.

Koaxiální technologie

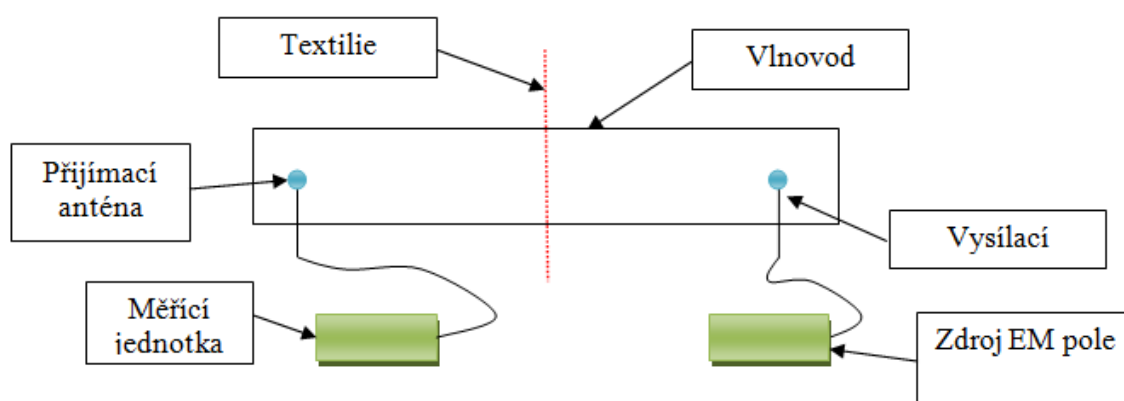
Využitím této technologie můžeme měřit útlum i odraz elektromagnetického vlnění ve velmi širokém pásmu, od 100 kHz až do několika GHz. Ke stínicímu účinku textilií byl navržen speciální koaxiální držák (obr. č. 4.15). [15]



Obr. č. 4.15 – Měření pomocí koaxiálního držáku [15]

Vlnovodná technologie

Vlnovodná technologie (obr. č. 4.16) lépe napodobuje podmínky pro stínění ve volném prostoru. Oproti koaxiální technologii nemá tak velký širokopásmový rozsah. [15]



Obr. č. 4.16 – Měření pomocí vlnovodu [14]

5. Experiment

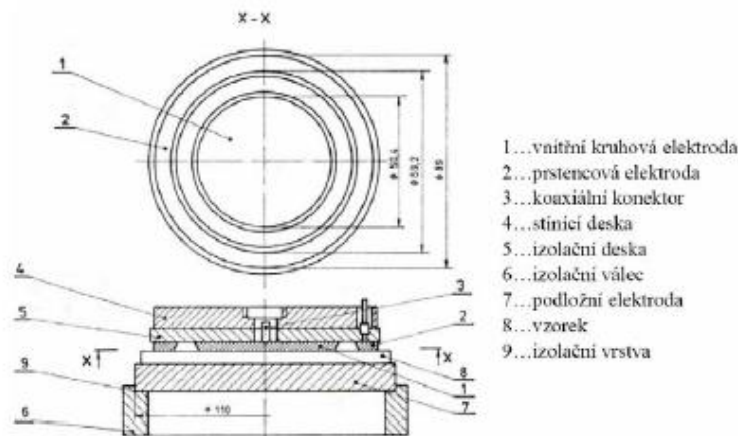
V experimentální části bylo provedeno měření povrchové a objemové rezistivity. Dále pak měření útlumu elektromagnetického vlnění. Tato měření byla provedena na vzorcích materiálu uvedených v tabulce č. 5.1.

Tabulka č. 5.1 – Měřené materiály

Název vzorku	Materiál	Antistatické vlákno	Vazba	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Vzor [mm]
BELINKA	65 % PES 35 % CO 20x2 tex	BEKITEK BK 50	K 2/1	210	6x6
BUKANÝR	65 % PES 31,8 % CO 3,2 % kov	BEKINOX	K 2/1	190	Ve směsi
Lairdtech	PAD s nickel a měděným pokovením		P	102	Ve směsi
NELA	65 % PES 35 % CO 12x2 tex	NEGASTAT P 190	K 2/1	160	
Netkanka	FINET PES 1/370/ANT	Nerez vlákno	Netkaná textilie	369	2 % ve směsi
OST 321	PES 78 TO+NR	RESISTAT F 9601	Osnovní úplet	125	7x7
UVES	PES 78/24/300 167/36 x 1 NR	RESISTAT F9601	K 2/1	100	5x5
Vzorek	PES 7 %	nega-STAT	K 2/1	144	2,5x2,5

Měření povrchové rezistivity

Měření povrchové rezistivity bylo provedeno dle normy ČSN EN 61340-5 na zařízení, které je složeno ze tří kruhových elektrod (obr. č. 5.1) a měřicího přístroje High Resistance Meter 4339B Hewlett Packard, to odpovídá normě ČSN EN 61340-5-1. Toto měření bylo provedeno při napětí 1 až 100 V. U všech vzorků materiálu bylo provedeno měření na pěti různých místech. Na každém místě byly zaznamenány dvě hodnoty. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5.2 a z nich spočítán průměr podle vztahu (37). [48]



Obr. č. 5.1 – Zařízení pro měření povrchové a objemové rezistivity plošných textilií. [41]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (37)$$

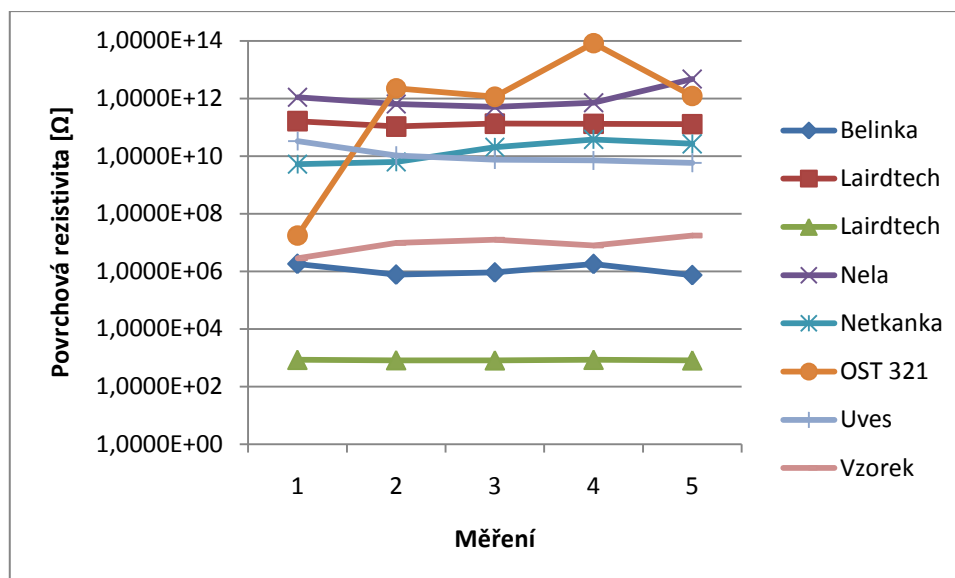
kde

 \bar{x} je průměr n je počet prvků x_i je součet prvků

Tabulka č. 5.2 – Naměřená povrchová rezistivita

Vzorek	Zkušební napětí [V]	1. měření [Ω]	2. měření [Ω]	3. měření [Ω]	4. měření [Ω]	5. měření [Ω]	Průměrná hodnota [Ω]
Belinka	1	1,7994E+06	7,6524E+05	9,0848E+05	1,7852E+06	7,3658E+05	1,1990E+06
		1,1443E+06	7,5637E+05	8,7828E+05	1,6682E+06	7,1650E+05	1,0327E+06
Bukanýr	100	1,6263E+11	1,0560E+11	1,3269E+11	1,3032E+11	1,2868E+11	1,3198E+11
		1,6621E+11	1,5046E+11	1,3396E+11	1,4849E+11	1,3091E+11	1,4601E+11
Lairdtech	1	8,3880E+02	8,1642E+02	8,0621E+02	8,4302E+02	8,0392E+02	8,2167E+02
		8,4122E+02	7,9625E+02	8,4576E+02	8,2528E+02	7,8580E+02	8,1886E+02
Nela	50	1,1005E+12	6,4455E+11	5,0931E+11	7,0907E+11	4,7151E+12	1,5357E+12
		1,0237E+12	8,9609E+11	5,0450E+11	1,0456E+12	9,3112E+11	8,8020E+11
Netkanka	1	5,1743E+09	6,2658E+09	2,0231E+10	3,7825E+10	2,6517E+10	1,9203E+10
		5,1667E+09	1,0792E+10	1,9496E+10	1,3122E+10	1,2616E+10	1,2239E+10
OST 321	50	1,7330E+07	2,2278E+12	1,1412E+12	8,2234E+13	1,2072E+12	1,7362E+13
		1,7169E+07	1,8014E+14	1,3562E+12	3,7294E+13	3,0489E+12	4,4368E+13
Uves	1	3,2992E+10	1,0492E+10	7,4331E+09	7,0009E+09	5,8291E+09	1,2749E+10
		2,8376E+10	9,8228E+09	2,0198E+10	6,5076E+09	5,7869E+09	1,4138E+10
Vzorek	10	2,7898E+06	9,5992E+06	1,2503E+07	7,7780E+06	1,7306E+07	9,9952E+06
		2,5852E+06	7,8432E+06	1,1413E+07	6,3516E+06	1,8487E+07	9,3360E+06

Pozn.: rozdílné měřicí napětí bylo z důvodů automatické proudové ochrany měřícího přístroje. Normované napětí je 100 V.



Graf č. 1 Naměřená povrchová rezistivita

Hodnocení: Nejmenší povrchová rezistivita byla naměřena na vzorku Lairdtech, který je z polyamidových vláken a tato vlákna jsou pokovená niklem a mědí. Nejvyšší povrchová rezistivita byla naměřena na vzorku OST 321, kde je použit polyester a jako vodivé vlákno uhlík.

Měření objemové rezistivity

Měření objemové rezistivity bylo provedeno dle normy ČSN EN 61340-5 na zařízení, které je složené ze tří kruhových elektrod a měřicího přístroje High Resistance Meter 4339B Hewlett Packard, ten odpovídá normě ČSN EN 61340-5-1. Toto měření bylo provedeno při napětí 0,1 V. K měření objemové vodivosti je nutné nejdříve změřit tloušťku materiálu. Toto měření bylo provedeno na tloušťkoměru. Hodnoty tloušťky materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 5.3. Z těchto hodnot byl spočítán průměr ze vztahu (37), který se zadal do měřicího přístroje. U každého vzorku bylo provedeno 5 měření na různých místech a zaznamenávala 2 hodnoty pro každé místo. Naměřené hodnoty objemové rezistivity jsou uvedeny v tabulce č. 5.4. Z těchto hodnot byl spočítán průměr, ze vztahu (37). [48]

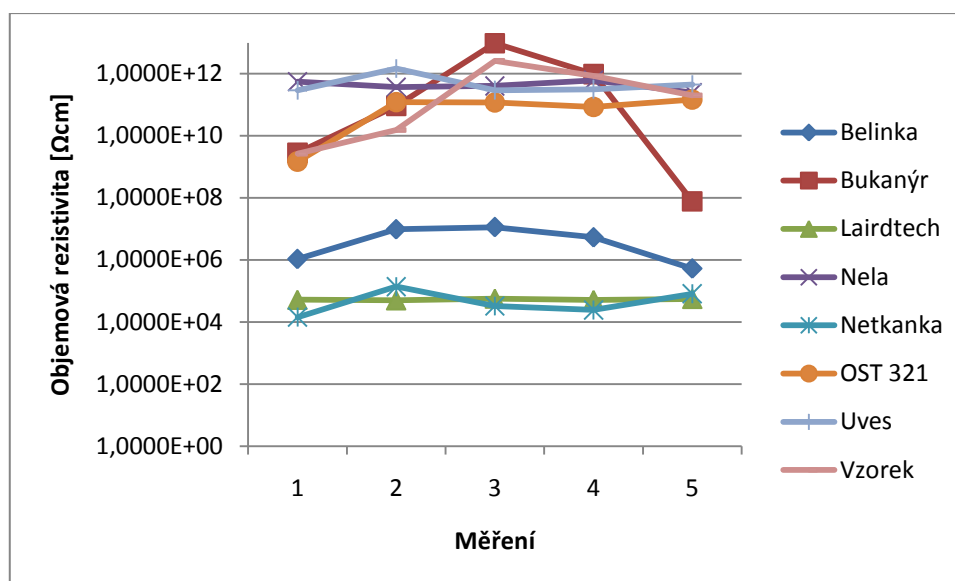
Tabulka č. 5.3 – Naměřené hodnoty tloušťky materiálu

Vzorek	1. měření [mm]	2. měření [mm]	3. měření [mm]	Průměrná hodnota [mm]
Belinka	0,40	0,41	0,41	0,41
Bukanýr	0,43	0,42	0,42	0,42
Lairdtech	0,16	0,16	0,17	0,16
Nela	0,40	0,40	0,40	0,40
Netkanka	1,37	1,35	1,31	1,34
OST 321	0,42	0,42	0,41	0,42
Uves	0,20	0,20	0,20	0,20
Vzorek	0,18	0,18	0,19	0,18

Tabulka č. 5.4 – Naměřené hodnoty objemové rezistivity

Vzorek	Napětí [V]	1. měření [Ωcm]	2. měření [Ωcm]	3. měření [Ωcm]	4. měření [Ωcm]	5. měření [Ωcm]	Průměrná hodnota [Ωcm]
Belinka	0,1	1,0766E+06	9,6919E+06	1,1419E+07	5,3459E+06	5,3192E+05	5,6131E+06
		7,4500E+04	9,9135E+06	9,2324E+06	5,4692E+06	5,2666E+05	5,0433E+06
Bukanýr	0,1	2,8353E+09	9,2759E+10	9,6234E+12	9,7742E+11	7,7008E+07	2,1393E+12
		3,0475E+09	1,1467E+10	5,5119E+11	9,1532E+11	7,2472E+07	2,9622E+11
Lairdtech	0,1	5,2066E+04	5,0057E+04	5,6878E+04	5,1529E+04	5,5652E+04	5,3236E+04
		5,3165E+04	4,7112E+04	5,7259E+04	5,0467E+04	5,0836E+04	5,1768E+04
Nela	0,1	5,6006E+11	3,7131E+11	4,0606E+11	6,2050E+11	2,4829E+11	4,4124E+11
		3,5209E+11	2,8998E+11	3,5654E+11	4,8355E+11	3,4198E+11	3,6483E+11
Netkanka	0,1	1,4391E+04	1,3793E+05	3,2800E+04	2,4358E+04	8,1519E+04	5,8200E+04
		1,4638E+04	1,3643E+05	3,7885E+04	2,4870E+04	2,6381E+04	4,8041E+04
OST 321	0,1	1,4830E+09	1,2121E+11	1,1877E+11	8,5016E+10	1,4866E+11	9,5028E+10
		1,2323E+09	3,3395E+11	2,6041E+11	3,9611E+11	4,0199E+11	2,7874E+11
Uves	0,1	2,9429E+11	1,4881E+12	2,9722E+11	3,1917E+11	4,4594E+11	5,6894E+11
		2,2635E+11	1,8986E+12	3,2162E+11	2,7121E+11	5,5593E+11	6,5474E+11
Vzorek	0,1	2,6661E+09	1,5489E+10	2,5953E+12	8,4638E+11	2,0261E+11	7,3249E+11
		1,7475E+09	8,9353E+09	9,4505E+11	6,6048E+11	8,8539E+11	5,0032E+11

Pozn.: rozdílné měřicí napětí bylo z důvodů automatické proudové ochrany měřícího přístroje. Normované napětí je 100 V.



Graf č. 2 Naměřená objemová rezistivita

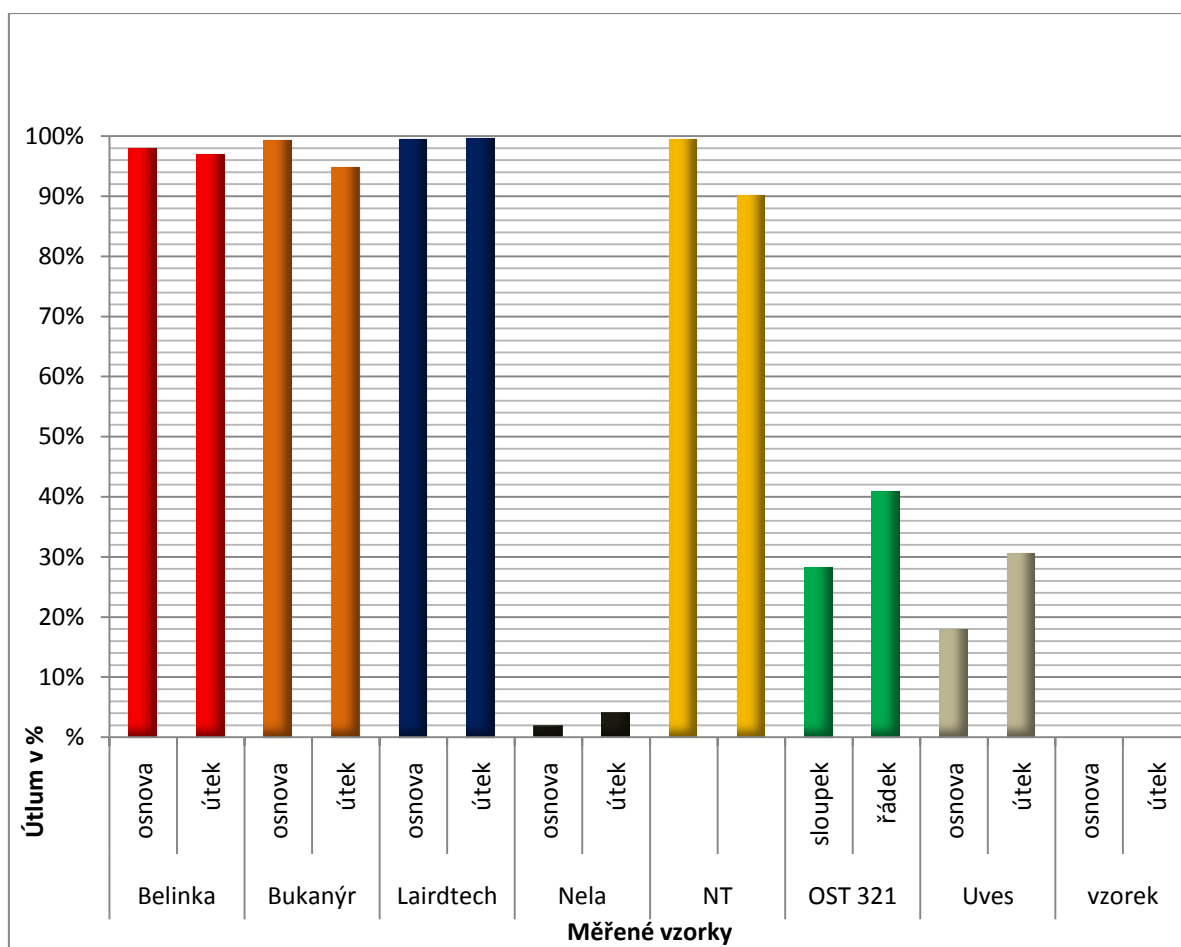
Hodnocení: Nejmenší povrchová rezistivita byla naměřena na vzorku Lairdtech, který je z polyamidových vláken a tato vlákna jsou pokovená niklem a mědí a také na vzorku netkané textilie, kde je použit polyester a nerez vlákno. Největší povrchová rezistivita byla naměřena na vzorku Vzorek, kde je použito uhlíkové vlákno.

Měření útlumu elektromagnetického vlnění

Měření útlumu elektromagnetického vlnění bylo provedeno na vlnovodu. Byla provedena dvě měření – ve směru osnovy příp. sloupku a ve směru útku příp. řádku. Měření probíhalo následujícím způsobem. Nejdříve byla změřena intenzita pole bez textilie a poté intenzita pole s textilií přiloženou před vlnovod. Hodnoty jsou zaznamenány v tabulce č. 12. Z těchto hodnot byl spočítán útlum v [%] a účinnost stínění v [dB]. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5.5. Účinnost stínění byla vypočítána ze vzorce (32).

Tabulka č. 5.5 – Naměřené hodnoty útlumu elektromagnetického vlnění

Vzorek	Směr měření	Intenzita pole před stíněním [V.m ⁻¹]	Intenzita pole po stínění [V.m ⁻¹]	Útlum [%]	Účinnost stínění [dB]
Belinka	osnova	6,7	0,151	97,7	32,9
	útek	5,7	0,185	96,8	29,7
Bukanýr	osnova	5,4	0,043	99,1	41,8
	útek	5,2	0,28	94,6	25,4
Lairdtech	osnova	5,06	0,03	99,4	44,5
	útek	4,03	0,014	99,6	48,9
Nela	osnova	5,9	5,8	1,7	0,1
	útek	7,5	7,2	4	0,4
Netkaná textilie		4,08	0,027	99,3	43,5
		7,02	0,7	90	20
OST 321	sloupek	5,7	4,1	28,1	2,9
	řádek	5,4	3,2	40,7	4,5
Uves	osnova	4,5	3,7	17,8	1,7
	útek	5,6	3,9	30,4	3,1
vzorek	osnova	5,7	5,7	0	0
	útek	4,8	4,8	0	0



Graf č. 3 – Útlum elektromagnetického pole

Hodnocení: Nejlepší účinnost stínění byla naměřena na vzorku Lairdtech. Nejmenší účinnost stínění byla naměřena na vzorku Vzorek.

6. Závěr

V první části této bakalářské práce je podrobně popsáno pole elektrické a pole magnetické, z kterých je složeno pole elektromagnetické. Jsou zde popsány základní vztahy a zákony, rozsah elektromagnetického vlnění, ionizující a neionizující záření.

Další část bakalářské práce se zabývá účinky elektromagnetického pole na člověka, elektromagnetickou kompatibilitou tj. vykazování správné činnosti jak strojů, tak lidí v prostředí, ve kterém působí zdroje elektromagnetického systému. Jsou zde uvedeny bezpečnostní limity neionizujícího záření jak pro osoby pracující v prostředí se zvýšenou expozicí elektromagnetického pole, tak pro ostatní osoby. Tyto limity jsou stanoveny nařízením vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením s účinností od 30. 4. 2008. Dále jsou zde uvedeny příklady některých elektrických spotřebičů a hodnoty intenzit jejich elektrických polí. Také jsou zde popsány výzkumné studie zabývající se účinky elektromagnetického pole na lidský organismus. Těchto studií byla provedena celá řada, některé studie jasně poukazují na škodlivost elektromagnetického pole. Jiné studie dokládají, že elektromagnetické pole nemá na člověka žádný vliv. Řada těchto studií je ovlivněna sponzorem studie a výrobci elektrických zařízení produkujících elektromagnetické pole. Proto není dosud jasně zodpovězeno, zda elektromagnetické pole člověku škodí či naopak.

Další část bakalářské práce se zabývá ochranou člověka před působením elektromagnetického pole pomocí stínících textilií. Je zde popsán princip stínění a účinnost stínění. Stínící textilie musí být elektricky vodivé, lze je vyrobit jako tkaninu, netkanou textilií a pleteninu. Elektrické vodivosti textilie je docíleno buď vodivou přízí, která může být z bavlny, polyamidu, polyesteru s přídavkem vodivého vlákna jako je měď, ocel, stříbro nebo povrchovými úpravami, ty však nejsou tak stálé. Dále je u těchto textilií důležitá povrchová a objemová rezistivita. Aplikace těchto textilií je velmi široká, využívají se pro výrobu ochranných obalů pro dopravu a skladování součástek citlivých na elektrický výboj, pro stínění kabelů, jako ochranná aplikace citlivých přístrojů, na výrobu textilií pro domácnost a pro oděvy chránící člověka. Jsou zde uvedeny příklady oděvů a ochranných textilií pro domácnost. Nabídka těchto oděvů a textilií není příliš široká, ale s postupem času jsou tyto výrobky na trhu dostupnější. U nás je ale není možné zakoupit. Je možné je objednat ze zahraničí.

Dále je zde také popsána koaxiální a vlnovodná technologie pro měření útlumu elektromagnetického pole.

V experimentální části je provedeno měření povrchové a objemové rezistivity a útlumu elektromagnetického pole. U měření povrchové rezistivity byla nejmenší hodnota naměřena na vzorku materiálu s pokoveným vláknem a nejvyšší hodnota na vzorku s uhlíkovým vláknem. U měření objemové rezistivity byla naměřena nejmenší hodnota také na vzorku s pokoveným vláknem a nejmenší na vzorku s uhlíkovým vláknem. Při měření útlumu elektromagnetického pole dosáhl nejvyšší účinnosti stínění vzorek s pokoveným vláknem a nejmenší účinnosti vzorek s uhlíkovým vláknem. Z toho vyplývá, že nejlépe elektromagnetické pole tlumí kovová vlákna a nejhůře uhlíková vlákna. Útlum elektromagnetického pole je také závislý na povrchové a objemové rezistivitě, čím menší rezistivita tím vyšší účinek stínění a naopak.

Seznam použité literatury

- [1] Halliday, D. - Resnick, R. - Walker, J.: **FYZIKA**, 1. vydání, Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM 2000, ISBN 80-214-1869-9
- [2] Haňka, L.: **TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE**, 2. vydání, Praha 1982, nakladatelství SNTL,
- [3] Horák, Z. – Krupka, F.: **FYZIKA, SVAZEK 2**, 2. vydání, Praha 1976, nakladatelství SNTL,
- [4] Doc. Dr. Fuka, J. – Prof. Dr. Havelka, B.: **ELEKTROMAGNETICKÉ POLE**, 1. vydání, Praha 1958, Státní pedagogické nakladatelství
- [5] Lank, V. – Vondra, M.: **FYZIKA V KOSTCE PRO STŘEDNÍ ŠKOLY**, 2. vydání, Havlíčkův Brod 1999, nakladatelství FRAGMENT, ISBN 80-7200-335-6
- [6] Kuběna, J.: **ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY**, Hradec Králové 1996, ISBN 80-7041-505-3
- [7] Lepil, O. – Bednařík, M. – Hýblová, R.: **FYZIKA II PRO STŘEDNÍ ŠKOLY**, Praha 2000, nakladatelství Prometheus, ISBN 80-7196-185-X
- [8] Macháček, M. – **ENCYKLOPEDIE FYZIKY**, 1. vydání, Praha 1995, nakladatelství Mladá fronta, ISBN 80 – 204 – 0237 – 3
- [9] Holger, K. – Erlacher, P.: **NEVIDITELNÁ HROZBA? ELEKTROMAGNETICKÉ POLE KOLEM NÁS**, 1. české vydání, překlad Hrdinová, Š., Ostrava 2001, nakladatelství Hel, ISBN 80-86167-15-1
- [10] Sbírka zákonů, Česká republika, Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením s účinností od 30. 4. 2008
- [11] Prof. Ing. Militký, J.: **TEXTILNÍ VLÁKNA**, Speciální vlákna, 2. Vydání, Liberec 2007, Technická univerzita v Liberci, ISBN 978-80-7372-169-1
- [12] Lizák, P. – Militký, J.: **TECHNICKÉ TEXTÍLIE**, 1. vydání, Ružomberk 2002, Nadácia pre rozvoj textilného vysokoškolského vzdelávania, ISBN 80-968674-0-7
- [13] Militký, J. – **TEXTILNÍ VLÁKNA – KLASICKÁ A SPECIÁLNÍ**, 1. vydání, Liberec 2002, Technická univerzita v Liberci, ISBN 80-7083-644-X
- [14] Truhlář, M. – Textilie se zvýšeným komfortem odolné vůči elektromagnetickému záření, řešerše k projektu
- [15] Vrba, J. – Zpráva měření stínění EM pole pomocí textilních materiálů
- [16] Prospekty firmy PHU “ESO” Stanislaw Osajda, Polsko
- [17] Wikipedie otevřená encyklopedie [online], [citováno 1. 2. 2010],
URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- [18] Lékařská fakulta Masarykovy univerzity [online], citováno [15. 3. 2010],
URL: <http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/zareni.pdf>
- [19] FyzWeb novinky [online], [citováno 16. 2. 2010], URL: http://fyzweb.cz/materialy/hv_izdy/3_elmagvakuum.pdf

- [20] Wikipedie otevřená encyklopedie [online], [citováno 16. 2. 2010], URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Foton>
- [21] Elektrosmog [online], [citováno 15. 3. 2010], URL: www.elektrosmog.cz
- [22] International Agency for research on Cancer [online], [citováno 13. 3. 2010]. URL: <http://www.iarc.fr/>
- [23] GSM World [online], [citováno 13. 3. 2010], URL: <http://www.gsmworld.com/health/>
- [24] Světová zdravotnická organizace v ČR [online], [citováno 13. 3. 2010], URL: <http://www.who.cz/>
- [25] World health organization [online], [citováno 13. 3. 2010], URL: <http://www.who.int/en/>
- [26] Zdraví a mobil [online], [citováno 15. 3. 2010], URL: <http://www.zdraviamobil.cz/cs/node/107>
- [27] Elektro odborný časopis pro elektrotechniku [online], [citováno 16. 3. 2010], URL: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26149
- [28] Vysoké učení technické v Brně [online], [citováno 29. 3. 2010], URL: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/prezentace.pdf>
- [29] Výzkumné laboratoře FD ČVUT [online], [citováno 15. 4. 2010], URL: http://filip.fd.cvut.cz/vyuka/tks/pollak_zpusoby_omezovani_ruseni.pdf?PHPSESSID=174625ecbea105cd2691281aeb3638da
- [30] Fyzikálně-matematický blog [online], [citováno 2. 3. 2010], URL: <http://fyzmatik.pise.cz/>
- [31] Elektrika [online], [citováno 15. 4. 2010], URL: <http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2005-05-06.9495090043/view>
- [32] MM Průmyslové spektrum [online], [citováno 15. 4. 2010], URL: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vakuove-a-plazmochemicke-techniky-povrchovych-uprav>
- [33] Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, vlastnosti vláken [online], [citováno 6. 4. 2010], URL: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska14.pdf>
- [34] Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, modifikace vláken [online], [citováno 6. 4. 2010], URL: http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/3_vl%C3%A1kna_modifikace0.pdf
- [35] Elektrosmog blog [online], [citováno 15. 3. 2010], URL: <http://elektrosmog.blog.cz/rubrika/vedecke-studie>
- [36] Wikipedie otevřená encyklopedie [online], [citováno 2. 3. 2010], URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Faradayova_klec
- [37] Wikipedie otevřená encyklopedie [online], [citováno 16. 2. 2010], URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita_magnetick%C3%A9ho_pole

- [38] Wikipedie otevřená encyklopedie [online], [citováno 16. 2. 2010],
URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlnov%C3%A1_d%C3%A9lka
- [39] Wikipedie otevřená encyklopedie [online], [citováno 16. 2. 2010],
URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Frekvence>
- [40] The EMF safety Superstore [online], [citováno 19. 4. 2010],
URL: <http://www.lessemf.com/emf-shield.html>
- [41] Elektrické chování textilií s antistatickými vlastnostmi a způsoby jejich hodnocení, Miroslava Maršálová [online], [citováno 1. 5. 2010], URL: http://www.ft.tul.cz/bulletin/statni_doktorske_zkousky_a_obhajoby/teze-Marsalkova.pdf
- [42] Livspace [online], [citováno 30. 4. 2010], URL: <http://www.livspace.com.au/>
- [43] e-safewear [online], [citováno 19. 4. 2010] URL: <http://bt-hotel.com/>
- [44] Galvanovna omega [online], [citováno 10. 5. 2010],
URL: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>
- [45] Přednášky Technické textilie, přednáška Úpravy
- [46] Technologie výroby a používané materiály [online], [citováno 3. 5. 2010],
URL: http://147.229.68.118/~adamek/uceb/DATA/s_2_3_2.htm
- [47] Elektro odborný časopis pro elektrotechniku [online], [citováno 3. 5. 2010],
URL: <http://www.odbornecasopisy.cz/imagesold/e0106043.gif>
- [48] Česká technická norma, ČSN EN 61340-5-1, Český normalizační institut, 2001
- [49] Etm CZ elektrotechnika [online], [citováno 3. 5. 2010]
URL: <http://www.etm.cz/rubriky/praxe/188-elektromagneticka-kompatibilita>
- [50] Tzb Info, [online], [citováno 3. 5. 2010], URL: <http://www.tzbinfo.cz/docu/clanky/0058/005802o10.jpg>

Seznam použitých obrázků

- Obr. č. 2.1 – Elektromagnetické vlnění [49]
Obr. č. 2.2 – Elektromagnetické spektrum [50]
Obr. č. 3.1 – Pronikání složek elektromagnetického pole lidským tělem [49]
Obrázek č. 4.1 – Kolmý dopad elektromagnetické vlny na stínící přepážku [26]
Obrázek č. 4.2 – Odraz a průnik elektromagnetických vln pod různým úhlem stínící překážkou [25]
Obr. č. 4.3 – Princip napařování [48]
Obr. č. 4.4 – Princip nanesení plazmou [47]
Obr. č. 4.5 – Princip pokovování [46]
Obr. č. 4.6 – Ochranná kombinéza [43]
Obr. č. 4.7 – Části ochranné kombinézy [43]
Obr. č. 4.8 – Tričko [39]
Obr. č. 4.9 – Trenýrky [39]
Obr. č. 4.10 – Kabát [45]
Obr. č. 4.11 – Boxerky [39]
Obr. č. 4.12 – Stínící kukla [39]
Obr. č. 4.13 – Čelenka [45]
Obr. č. 4.14 – Faradayovi nebesa [44]
Obr. č. 4.15 – Měření pomocí koaxiálního držáku [40]
Obr. č. 4.16 – Měření pomocí vlnovodu [40]
Obr. č. 5.1 – Zařízení pro měření povrchové a objemové vodivosti plošných textilií. [41]

Seznam tabulek

- Tabulka č. 3.1 Nejvyšší přístupné hodnoty modifikované proudové hustoty [10]
Tabulka č. 3.2 Nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivého toku [10]
Tabulka č. 3.3 Nejvyšší přípustné hodnoty měrného absorbovaného výkonu [10]
Tabulka č. 3.4 Referenční úrovně pro elektrickou intenzitu [10]
Tabulka č. 3.5 Referenční úrovně pro magnetickou indukci [10]
Tabulka č. 3.6 Intenzita elektrického pole domácích spotřebičů na vzdálenost 30 cm. [27]
Tabulka č. 3.7 Intenzita magnetického pole domácích spotřebičů na vzdálenost 30 cm. [27]
Tabulka č. 4.1 – Hodnocení elektromagnetického stínění podle hodnot SE [25]
Tabulka č. 5.1 – Měřené materiály
Tabulka č. 5.2 – Naměřená povrchová rezistivita
Tabulka č. 5.3 – Naměřené hodnoty tloušťky materiálu
Tabulka č. 5.4 – Naměřené hodnoty objemové rezistivity
Tabulka č. 5.5 – Naměřené hodnoty útlumu elektromagnetického vlnění

Seznam grafů

- Graf č. 1 – Naměřená povrchová rezistivita
Graf č. 2 – Naměřená objemová rezistivita
Graf č. 3 – Útlum elektromagnetického pole